

DANIEL AUGUSTO RAINHA ROLANDO

**Aplicação de método de tomada de decisão multicritério
para priorização de projetos *Lean Six Sigma***

Guaratinguetá

2018

DANIEL AUGUSTO RAINHA ROLANDO

**Aplicação de método para priorização de projetos *Lean*
*Six Sigma***

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista,
para a obtenção do título de Mestre
em Engenharia de Produção na
Área de Gestão de Operações.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Chaves Franco
Co-orientador: Prof. Dr. Otávio José de Oliveira

Guaratinguetá
2018

R744a Rolando, Daniel Augusto Rainha
Aplicação de método de tomada de decisão multicritério para
priorização de projetos Lean Six Sigma / Daniel Augusto Rainha Rolando
– Guaratinguetá, 2018.
153 f : il.
Bibliografia: f. 121-149

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Engenharia de Guaratinguetá, 2018.
Orientador: Prof. Dr. Bruno Chaves Franco
Co-orientador: Prof. Dr. Otávio José de Oliveira

1. Processo decisório por critério múltiplo. 2. Seis Sigma (Padrão de
controle de qualidade). 3. Administração de projetos. I. Título.

CDU 65.012.4(043)

DANIEL AUGUSTO RAINHA ROLANDO

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO ACADÊMICO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Otávio José de Oliveira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. BRUNO CHAVES FRANCO
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
UNESP/FEG


Prof. Dr. EDUARDO FERRO DOS SANTOS
EEL/USP

DADOS CURRICULARES

DANIEL AUGUSTO RAINHA ROLANDO

NASCIMENTO	04.06.1986 – Guaratinguetá / SP
FILIAÇÃO	Sérgio Augusto Rolando Marta de Araujo Rainha
2005/2013	Curso de Graduação Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá
2015/2018	Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista

Dedico à memória de meu amigo Daniel Pereira, um exemplo de esforço, dedicação, entusiasta em prol da educação e grande incentivador deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Raiane, pelo suporte, amor, dedicação e paciência ao entender as dificuldades em conciliar casamento, trabalho e estudos;

aos meus pais, Sérgio e Marta, pela oportunidade da vida, amor, afeto e por zelarem sempre pelo meu desenvolvimento pessoal e profissional;

aos meus irmãos Fernanda, Danilo e Ana Clara, que me ensinaram a amar as pessoas convivendo com as diferenças;

ao meu orientador, Prof. Dr. Bruno Chaves Franco, pela amizade, orientação, dedicação e auxílio. As conversas e trocas de informações foram de suma importância para este trabalho;

ao meu co-orientador, Prof. Dr. Otávio José de Oliveira, por acreditar em minha capacidade desde o início e pelo grande incentivo no começo do projeto.

a todos os meus avós, de sangue ou não, pelo exemplo e ensinamentos da vida;

aos meus primos e tios, pela educação, carinho, afeto e amor, ajudando meus pais em minha criação sempre que puderam;

aos meus grandes amigos ao Jonas, Simone, Pedro, Luciana, Augusto, Gabriel, Mariella, Christian, Rafael, Glênia, Diogo e Altair, sempre ao meu lado, amizade para toda a vida.

à Nice e à Rita, por sempre me acolherem como um filho;

aos colegas Nilton Marcelino e Edson Pereira, pelo suporte na coleta de dados e também à empresa que eles trabalham, por fornecer informações de suma importância para este trabalho;

aos meus companheiros de faculdade e de vida Roberto Davi e Fábio Silva, grandes incentivadores de minha continuidade na área acadêmica;

à empresa Embraer, pelo suporte dado em minha continuidade nos estudos. Tenho orgulho de fazer parte da história desta empresa;

em especial à minha D. Alayde Rolando: avó, mãe, amiga e dona de um coração tão grande que somos incapazes de medir;

e por fim agradeço a Deus, por dar força para continuar e paciência para nunca desistir.

"Eu posso não ter ido para onde eu pretendia ir, mas acho que acabei terminando onde eu pretendia estar".

Douglas Adams

RESUMO

Para a delimitação de um processo de tomada de decisão na escolha de projetos *Lean Six Sigma*, é necessário definir os fatores críticos, tanto de sucesso (como por exemplo: envolvimento e comprometimento da gestão, entendimento das ferramentas e técnicas do *Lean Six Sigma*, ligação do projeto com a estratégia de negócios) quanto de fracasso (como por exemplo a falta do envolvimento da gestão, resistência à mudança cultural, inexistência de gestão de projetos). Desta forma, este trabalho foi conduzido por meio de modelagem com validação de dados reais, com o objetivo de propor uma adaptação de métodos de auxílio à tomada a decisão para seleção de projetos *Lean Six Sigma* baseado nos fatores críticos de sucesso e fracasso. Para tanto, com base na revisão da literatura, foram identificados os fatores críticos de sucesso e fracasso para seleção de projetos *Lean Six Sigma*. Em seguida, uma análise de dois métodos de tomada de decisão multicritério, PROMETHEE e ANP, foi realizada por meio da aplicação dos modelos em um portfólio de projetos de uma empresa multinacional de grande porte. Como resultado, houve assertividade de 95% na seleção dos melhores projetos do portfólio, comparado aos projetos executados pela empresa mostrando-se que os dois modelos são aderentes ao problema. Como resultado, é possível constatar que o PROMETHEE se mostrou mais assertivo, principalmente nas comparações quantitativas, tendo aplicabilidade tanto para decisões individuais quanto em grupos. O ANP, por fazer a análise de preferência dos critérios de forma pareada (utilizando a escala comparativa de Saaty) torna mais fácil seu uso em grupos grandes de decisores, porém a comparação utilizando a escala de Saaty dificulta a análise de critérios quantitativos, bem como para pequenos grupos ou em decisões individuais.

Palavras-chave: Tomada de decisão; *Lean Six Sigma*; Seleção de projetos; Fatores Críticos de Sucesso; Métodos de tomada de decisão multicritério, PROMETHEE, ANP.

ABSTRACT

To define a decision-making process in the Lean Six Sigma projects' choice, it is necessary to define the critical success factors (e. g., management involvement and commitment, understanding the tools and techniques of Lean Six Sigma methodologies), and critical failure factors (e. g., lack of management involvement, cultural change resistance, project management weakness, etc.). In this way, this work was conducted through the modeling method with the objective of proposing an adaptation of decision-making aid methods process to select Lean Six Sigma projects based on the critical success and critical failure factors. Therefore, based on the literature review, the critical success and critical failure factors for the selection of Lean Six Sigma projects were identified. An analysis of two multi-criteria decision-making methods, PROMETHEE and ANP, was performed through the application of the models in a project portfolio of a large multinational company, presenting 95% assertiveness in the selection of the best portfolio projects compared to the executed projects by the company, showing that the two models are adherent to the problem. In addition, PROMETHEE has been more assertive, mainly in quantitative comparisons, and the use of the method are applied for both individual and group decisions; the ANP, by doing the preference analysis of the criteria in pair-to-pair way, using the Saaty's comparative scale, makes it easier in large groups of decision makers. However, the comparison using the Saaty scale makes it difficult to analyze quantitative criteria as well as small groups or in individual decisions.

Keywords: Decision making; Lean Six Sigma; Selection of projects; Critical Success Factors; Multi-criteria decision-making aid methods; PROMETHEE; ANP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - PUBLICAÇÕES E CITAÇÕES EM <i>LEAN SIX SIGMA</i>	20
FIGURA 2 - FLUXO CONVENCIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS LSS NA INDÚSTRIA.....	25
FIGURA 3 - FLUXO PROPOSTO DE GESTÃO DE PROJETOS LSS NA INDÚSTRIA.....	25
FIGURA 4 - MÉTODO DE PESQUISA.....	27
FIGURA 5 - DMAIC.....	34
FIGURA 6 - ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	36
FIGURA 7 - RELAÇÃO DOS SETE TIPOS DE DESPERDÍCIOS COM PESSOAS, QUANTIDADE E QUALIDADE.....	39
FIGURA 8 - ABORDAGEM DOS PRINCIPAIS PASSOS DE MELHORIA NO GERENCIAMENTO DE PROJETOS LSS.....	52
FIGURA 9 - COMPLEXIDADE DE UM SISTEMA VERSUS PRECISÃO DO MODELO.....	55
FIGURA 10 - PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO.....	55
FIGURA 11 - HIERARQUIA DO PROCESSO AHP.....	56
FIGURA 12 - DIFERENÇAS ENTRE A ESTRUTURA DO AHP E DO ANP.....	59
FIGURA 13- DIFERENÇA ENTRE A LÓGICA CLÁSSICA E A <i>FUZZY</i>	62
FIGURA 14 - FASES DO PROCESSO MACBETH DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO.....	69
FIGURA 15 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO INTERATIVO DO MACBETH.....	71
FIGURA 16 - FUNÇÕES UTILIZADAS NA SELEÇÃO DE PROJETOS UTILIZANDO PROMETHEE.....	78
FIGURA 17 - SUPER-MATRIZ DE UM SISTEMA DE N-GRUPOS.....	80
FIGURA 18 - CRITÉRIOS INSERIDOS PARA PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS (ANP).....	83
FIGURA 19 - ETAPAS DA MODELAGEM E APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	86
FIGURA 20 - GESTÃO DE PROJETOS ATUAL NA EMPRESA A.....	88
FIGURA 21 - RESULTADOS DOS PROJETOS NA EMPRESA A – ANÁLISE GRÁFICA COM PONDERAMENTO DE PESOS PRÉ-DEFINIDOS.....	95

FIGURA 22 - RESULTADOS DOS PROJETOS NA EMPRESA A – PONDERANDO “RETORNO FINANCEIRO” COM 30% E “FOCO NO CLIENTE COM 15%”	96
FIGURA 23 - RESULTADOS DOS PROJETOS NA EMPRESA A EM 2017.....	112
FIGURA 24 - RESULTADOS DOS PROJETOS NA EMPRESA A EM 2017 – PONDERANDO “LIGAÇÃO COM A ESTRATÉGIA DE NEGÓCIOS” COM 50%	113

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESPOSTAS QUANDO QUESTIONADO A COLOCAÇÃO DOS SEIS MAIORES CSFs DE LSS	22
TABELA 2 - SIGNIFICADO DA ESCALA SIGMA	33
TABELA 3 - PESOS DAS DIRETRIZES PARA SELEÇÃO DE PROJETOS LSS	82
TABELA 4 - CRITÉRIOS INSERIDOS PARA PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS (PROMETHEE)	82
TABELA 5 – SELEÇÃO DE PROJETOS LSS DE 2016 UTILIZANDO O PROMETHEE, COM BASE NOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DA EMPRESA	90
TABELA 6 – CRITÉRIOS QUANTO AOS RESULTADOS POTENCIAIS	91
TABELA 7 – CRITÉRIOS QUANTO AO PROBLEMA A SER RESOLVIDO	92
TABELA 8 - SELEÇÃO DE PROJETOS LSS DE 2016 UTILIZANDO O PROMETHEE, COM BASE NOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO COM ENFOQUE EM FATORES CRÍTICOS.....	93
TABELA 9 – CRITÉRIOS QUANTO AOS RESULTADOS POTENCIAIS	98
TABELA 10 – CRITÉRIOS QUANTO AO PROBLEMA A SER RESOLVIDO	99
TABELA 11 - SELEÇÃO DE PROJETOS LSS DE 2016 UTILIZANDO O ANP, COM BASE NOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO COM ENFOQUE EM FATORES CRÍTICOS.....	100
TABELA 12 - SELEÇÃO DE PROJETOS LSS DE 2017 UTILIZANDO O PROMETHEE, COM BASE NOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DA EMPRESA	109
TABELA 13 - SELEÇÃO DE PROJETOS LSS DE 2017 UTILIZANDO O PROMETHEE, COM BASE NOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO COM ENFOQUE EM FATORES CRÍTICOS.....	110
TABELA 14 - SELEÇÃO DE PROJETOS LSS DE 2017 UTILIZANDO O ANP, COM BASE NOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO COM ENFOQUE EM FATORES CRÍTICOS.....	114

LISTA DE QUADROSS

QUADRO 1 - FATORES CRÍTICOS DE FRACASSO NA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS LSS EM ORDEM DE CRITICIDADE	21
QUADRO 2 - PRINCIPAIS FERRAMENTAS DO LEAN SIX SIGMA: AUTORES E QUANTIDADE DE CITAÇÕES DOS ARTIGOS	40
QUADRO 3 - CSFs ENCONTRADOS NA PESQUISA DE ARTIGOS RELACIONADOS A PROJETOS LSS	47
QUADRO 4 - MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: VANTAGENS E DESVANTAGENS	72
QUADRO 5 - AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS MCDM.....	75
QUADRO 6 – PRIMEIRA ETAPA DA APLICAÇÃO DO MÉTODO	87
QUADRO 7 - PROJETOS ESCOLHIDOS PARA PRIORIZAÇÃO.....	89
QUADRO 8 – RESULTADOS DOS 20 PRIMEIROS PROJETOS LSS DE 2016 PELO RANKING DO PROMETHEE	104
QUADRO 9 - RESULTADOS DOS 20 ÚLTIMOS PROJETOS LSS DE 2016 PELO RANKING DO PROMETHEE	105
QUADRO 10 – RESULTADOS DOS 20 PRIMEIROS PROJETOS LSS DE 2016 PELO RANKING DO ANP	106
QUADRO 11 - RESULTADOS DOS 20 ÚLTIMOS PROJETOS LSS DE 2016 PELO RANKING DO ANP	107
QUADRO 12 – SEGUNDA ETAPA DA APLICAÇÃO DO MÉTODO	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchic Process</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
CFF	<i>Critical Failure Factors</i>
CSF	<i>Critical Success Factors</i>
CTQ	<i>Critical to Quality</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DM	<i>Decision Making (Tomada de Decisão)</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Act, Improve, Control</i>
DMU	<i>Decision Making Units (Unidades de Tomada de Decisão)</i>
DOE	<i>Design of Experiments (Planjamento de Experimentos)</i>
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades
DT	<i>Decision Tree (Árvore de Decisão)</i>
ELECTRE	<i>Elimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
GE	<i>General Electric</i>
GP	<i>Goal Programming (Programação por metas)</i>
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MCDM	<i>Multi-Criteria Decision-Making</i>
MCDA	<i>Multi-Criteria Decision Aid</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation</i>
PPM	Partes por milhão
PMI	<i>Project Management Institute</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment (Desdobramento da função qualidade)</i>
SS / 6 σ	<i>Six Sigma</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution</i>
ULB	<i>Université Libre de Bruxelles (Universidade Livre de Bruxelas)</i>
WIP	<i>Work in Process</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	20
1.2	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS	23
1.3	DELIMITAÇÃO.....	24
1.4	JUSTIFICATIVA	24
1.5	MÉTODO DE PESQUISA	26
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	28
2	REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1	<i>LEAN SIX SIGMA</i>	29
2.1.1	<i>Six Sigma</i>	32
2.1.2	<i>Lean Manufacturing</i>	35
2.1.3	Ferramentas do <i>Lean Six Sigma</i>	39
2.1.4	Fatores de Sucesso em Projetos <i>Lean Six Sigma</i>	45
2.1.5	Fatores críticos de fracasso em projetos <i>Lean Six Sigma</i>	49
2.1.6	Seleção de Projetos <i>Lean Six Sigma</i>	51
2.2	TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO	53
2.2.1	AHP	56
2.2.2	ANP	57
2.2.3	ELECTRE	59
2.2.4	<i>Fuzzy</i>	61
2.2.5	Árvore de decisão.....	63
2.2.6	DEA	63
2.2.7	MAUT	64
2.2.8	TOPSIS	65
2.2.9	Programação por metas	66
2.2.10	PROMETHEE	67
2.2.11	MACBETH.....	69
2.2.12	Comparação entre métodos de tomada de decisão	71
3	MODELAGEM DE SELEÇÃO DE PROJETOS	76
3.1	SELEÇÃO DO MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO.....	76
3.1.1	Parametrização do PROMETHEE para seleção de projetos <i>Lean Six Sigma</i>	77
3.1.2	Parametrização do ANP para seleção de projetos <i>Lean Six Sigma</i>	79

3.2	CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE PROJETOS LEAN SIX SIGMA	81
3.3	INSERÇÃO DAS DIRETRIZES NO PROGRAMA VISUAL PROMETHEE	82
3.4	INSERÇÃO DAS DIRETRIZES NO PROGRAMA SUPER DECISIONS	83
4	APLICAÇÕES DOS MÉTODOS	84
4.1	CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA	84
4.2	PRODUTOS	84
4.3	TIPOS DE PROJETOS	84
4.4	FLUXOGRAMA DE APLICAÇÃO DOS MÉTODOS MCDM PARA SELEÇÃO DE PROJETOS .	85
4.5	APLICAÇÕES DOS MÉTODOS MCDM NA EMPRESA A – PRIMEIRA ETAPA	87
4.5.1	Primeiro teste: Critérios de avaliação da empresa.....	87
4.5.2	Segundo teste: Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios da empresa	89
4.5.3	Terceiro teste: Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios baseado em fatores críticos	91
4.5.4	Quarto teste: Utilizando método multicritério ANP com critérios baseado em fatores críticos	97
4.5.5	Análise dos resultados encontrados na primeira etapa.....	101
4.5.6	Comparação entre o resultado do PROMETHEE e a implementação dos projetos	103
4.5.7	Comparação entre o resultado do ANP e a implementação dos projetos	106
4.6	APLICAÇÕES DOS MÉTODOS MCDM NA EMPRESA A – SEGUNDA ETAPA	108
4.6.1	Quinto teste: Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios da empresa	109
4.6.2	Sexto teste: Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios baseado em fatores críticos	110
4.6.3	Sétimo teste: Utilizando método multicritério ANP com critérios baseado em fatores críticos	114
4.6.4	Análise dos resultados encontrados na segunda etapa.....	115
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS	117
5.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS	117
5.2	CONCLUSÕES.....	118
5.3	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	120
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

ANEXO 1 – MODELO DE CARTA DE PROJETOS	150
ANEXO 2 – FORMULÁRIO PARA AVALIAÇÃO DOS PROJETOS IMPLEMENTADOS DE 2016	151
ANEXO 3 – MODELOS DE A3 UTILIZADOS NA PESQUISA.....	152

1 INTRODUÇÃO

A necessidade atual do aumento de produtividade e qualidade, visando a redução de desperdícios e aumento da produtividade com menor quantidade de recursos, conduz à revitalização das práticas de melhoria contínua (SCHELLER; MIGUEL, 2014). Dentre estas práticas, as ferramentas *Lean* e o *Six Sigma* estão entre as mais amplamente utilizadas por empresas de diferentes setores industriais (SALAH et al., 2010). Sua integração, denominada de *Lean Six Sigma* (LSS), como ferramenta para aumento do desempenho de processos, tem sido aplicada com resultados satisfatórios na indústria, promovendo vantagens que de outra forma não seriam obtidas (GREMYR; FOUQUET, 2012)

O LSS é um conjunto de ferramentas de qualidade e gerenciamento de processos para a melhoria de negócios que permite maximizar o valor das ações da empresa pela melhoria da qualidade, velocidade de processos e entregas, satisfação de clientes e custos. O LSS combina as ferramentas e princípios do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma*, aplicada com sucesso em grandes empresas como a GE e a Motorola, sendo replicada, também com sucesso, para outras diversas companhias no mundo (ANTONY; LAUREANI, 2012).

A literatura de LSS está repleta de histórias de sucesso em organizações que a implementaram para alcançar melhorias na qualidade. Os benefícios de sua implementação em empresas são baseados na eliminação de desperdício e erros na linha produtiva e no fluxo de trabalho detalhado em procedimentos; garantia de produtos com qualidade assegurada, beirando a perfeição; melhorias no sistema de trabalho existente e entrega de valores aos clientes de maneira repetitiva garantindo a satisfação (DOUGLAS et al., 2015).

Esta demanda por projetos de melhoria baseados no método LSS, tem exigido das empresas técnicas de gerenciamento de projetos, que vêm ocupando espaço cada vez mais significativo nas grandes empresas, trazendo vantagens competitivas. Seus benefícios e resultados são visíveis nas corporações mesmo onde sua implantação não se encontra em um nível de maturidade avançado (KERZNER, 2006). Segundo Oliveira et al. (2015), as empresas possuem vários projetos, mas alguns não são adequadamente gerenciados, não obtendo os resultados esperados. De maneira ideal, uma organização deve ter um portfólio contínuo de projetos LSS, porém requer planejamento estratégico, orçamento, gerenciamento de curto prazo que, se bem gerenciado, aumente as chances para o cumprimento dos objetivos estratégicos (KALASHNIKOV et al., 2017).

Desta forma, se faz necessário o gerenciamento de um conjunto de projetos/programas e outros trabalhos, que alcancem os objetivos estratégicos do negócio, pois torna mais transparente e facilita o acompanhamento do portfólio de projetos de uma corporação (PMI, 2015).

Para uma gestão eficiente do portfólio é necessário a correta tomada de decisão para classificação e seleção de projetos LSS que permita priorizar os projetos mais importantes para a estratégia do negócio que trazem maior retorno financeiro mitigando os riscos envolvidos em sua execução.

A tomada de decisão é importante na maior parte das atividades humanas, independentemente se estamos realizando atividades diárias, trabalho profissional ou política. Algumas decisões podem ser relativamente simples, especialmente se as consequências de uma má decisão são pequenas, enquanto outros podem ser muito complexos e têm efeitos significativos (GOVINDAN; JEPSEN, 2016).

É o processo que possui a finalidade de identificar um problema ou uma oportunidade e desta forma solucioná-lo por meio de ações. Os problemas de escolha têm lugar central na teoria e prática de tomada de decisões (KOSTENKO et al., 2014).

Os métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM, do Inglês *Multi-Criteria Decision Making*) têm evoluído para acomodar vários tipos de aplicações. Dezenas de métodos têm sido desenvolvidos, mesmo com pequenas variações aos já existentes que provocam a criação de novos ramos de pesquisa (VELASQUEZ; HESTER, 2013).

Existem três principais problemas em qualquer processo de tomada de decisão: a diferenciação entre opções, a classificação destas opções e a escolha da melhor opção (KOSTENKO et al., 2014).

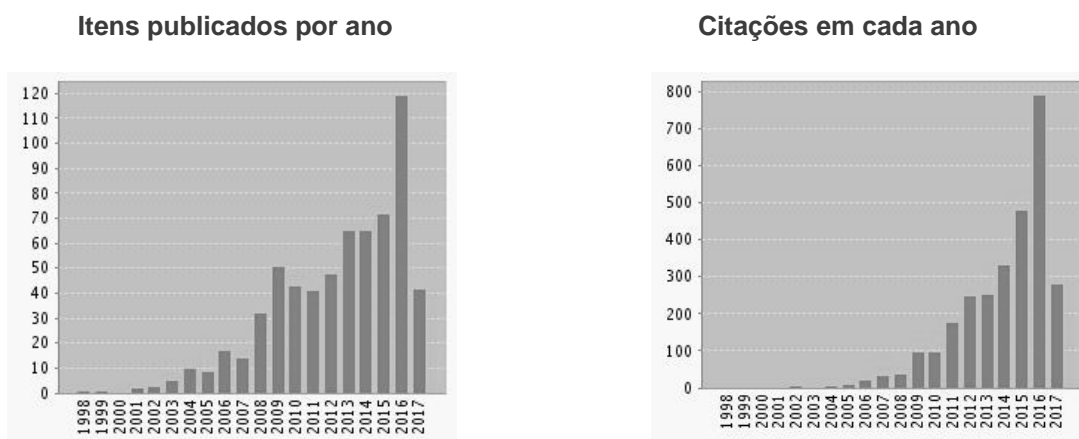
Serão estudados neste trabalho onze métodos de tomada de decisão multicritério, detalhados na Seção 2 do Capítulo 2, com aplicação prática dos métodos MCDM PROMETHEE e ANP.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Desta forma, antes de utilizar o LSS na melhoria de processos, é necessário identificar qual, dentre os projetos elencados, proverá melhor resultado no cenário almejado (aumento de lucro, redução de custos, por exemplo) para o negócio da empresa.

O LSS tem sido explorado de forma ampla na literatura, refletindo no aumento de publicações ao longo de 20 anos, como pode ser observado na Figura 1, que apresenta o Gráfico de artigos (itens) publicados por ano e citações por ano extraído da base de dados *Web of Science* utilizando a palavra-chave *Lean Six Sigma*, onde mostra que em 2016 houve um pico de publicação 60% maior se comparado com 2015.

Figura 1 - Publicações e Citações em *Lean Six Sigma*



Fonte: *Web of Science* – Acesso em 22/06/2017

Porém existem poucos artigos que tratam dos fatores críticos de sucesso ou fracasso em implementação de projetos LSS. Der Wiele (2014) encontrou, dentre os poucos artigos voltados aos fatores críticos de fracasso (ou CFF, do Inglês *Critical Failure Factors*), trinta e quatro fatores que considerou como potencializadores do fracasso na implementação de projetos LSS, mostrados no Quadro 1. Dentre eles, nota-se que falhas na seleção e priorização de projetos, como a escolha de projetos ruins, está em terceiro lugar, ficando atrás de dois fatores estratégicos: problemas com a alta administração e capacitação de envolvidos.

Quadro 1 - Fatores críticos de fracasso na implementação de projetos LSS em ordem de criticidade

Fatores Críticos de Fracasso (CFFs) na implementação de LSS	
1	Falta de atitude, comprometimento e envolvimento da alta gestão
2	Falta de treinamento e educação
3	Seleção e priorização de projeto fracos
4	Falta de recursos (financeiros, técnicos, humanos etc.)
5	Ligação fraca entre os projetos de melhoria contínua e os objetivos estratégicos da organização
6	Resistência à mudança cultural
7	Comunicação fraca
8	Falta de habilidades de liderança, visionária e liderança que dê suporte
9	Falta de consideração dos fatores humanos
10	Falta de consciência dos benefícios do LSS
11	Seleção errada das ferramentas do LSS
12	Visão estreita de LSS como um conjunto de ferramentas, técnicas e práticas
13	Falta de compreensão dos diferentes tipos de clientes
14	Falta de engajamento e participação do empregado, falta de autonomia da equipe
15	Falta de pensamento de processo e propriedades dos processos
16	Capacidades ruins da organização
17	Auto custo de implementação
18	Falta de experiência em projetos LSS
19	Falta de consciência da necessidade do LSS
20	Gerenciamento de projeto ineficiente
21	Método ruim de seleção de candidatos para treinamento de "belt"
22	Falta de visão clara e planejamento de futuro
23	Falta de um modelo efetivo ou roteiro para guiar a implementação
24	Execução ruim
25	Ameaças ou redundâncias
26	Consumo de tempo
27	Falta de estimativa de custos da implementação
28	Infra-estrutura inadequada / fraca
29	Outra estratégia de LSS da organização replicante
30	Falta de um sistema de medição de desempenho
31	Falta de compreensão de como iniciar a implementação
32	Falta de aplicação de teoria estatística
33	Falta de ligação aos fornecedores
34	Desalinhamento entre alvo do projeto, metas principais da companhia e demanda dos clientes

Fonte: Adaptado de DER WIELE, 2014

Quanto aos fatores críticos de sucesso (ou CSF, do Inglês *Critical Success Factors*) Parker (2012) classificou como os mais preponderantes os seis primeiros fatores apresentados na Tabela 1, por meio de uma pesquisa com dados empíricos em uma empresa que beirou a falência em 2001 e nos dias atuais possui estabilidade financeira:

Tabela 1 – Respostas da pesquisa sobre os maiores CSFs de LSS

	Rank						Total
	1	2	3	4	5	6	
Comprometimento da alta gestão	63	11	0	11	5	0	90
Ligação do LSS à estratégia de negócios	21	11	11	16	16	11	86
Ligação do LSS ao cliente	11	11	11	26	0	5	64
Compreensão das ferramentas e técnicas	5	11	16	5	11	16	64
Seleção e priorização de projetos	0	21	11	0	21	16	69
Treinamento e educação	0	21	0	0	5	16	42
Infraestrutura organizacional	0	11	0	0	0	0	11
Metas claras de melhoria	0	5	16	0	11	5	37
Um plano efetivo de comunicação	0	0	16	0	11	5	32
Alocação de recursos limpa e suficiente	0	0	11	42	16	16	85
Ligação do LSS à recompensas e reconhecimento	0	0	11	0	0	0	11
Habilidades de gerenciamento de projetos	0	0	0	0	5	11	16
Outras	0	0	0	0	0	0	0
Total global							607

Fonte: Adaptado de PARKER, 2012

Outras definições dos principais CSFs são apresentados por Antony (2012) como sendo:

- 1- Envolvimento e comprometimento da gestão;
- 2- Entendimento das técnicas e ferramentas do *Six Sigma*;
- 3- Ligação do LSS com estratégia de negócios;
- 4- Ligação do LSS com clientes;
- 5- Seleção, revisão, e rastreabilidade de projetos;
- 6- Infraestrutura organizacional;
- 7- Mudança cultural;
- 8- Habilidades de gerenciamento de projeto;
- 9- Ligação do LSS aos fornecedores; e
- 10- Capacitação.

Rockart (1979) popularizou os conceitos para identificação de CSFs para gestores, com o foco de evidenciar as suas necessidades. Os CSFs, de acordo com Rungasamy et al. (2002), são definidos como “aqueles fatores essenciais para o sucesso de qualquer programa ou técnica, de modo que se os objetivos associados com os fatores não são alcançados, a aplicação da técnica provavelmente falhará criticamente”. Voltados ao LSS, esta definição tem o significado de que existem alguns fatores que precisam ser alcançados ao longo da implementação do projeto LSS, com a ressalva que se não os alcançar, a implementação falhará ou não surtirá o efeito desejado.

É necessária, portanto, a criação de critérios para a seleção e priorização de projetos, sendo que os selecionados e definidos de maneira deficiente levam a resultados não correspondentes ao planejado e também a problemas motivacionais da equipe envolvida (TEO, 2010).

Nota-se que tanto para os fatores críticos de sucesso quanto para os fatores críticos de fracasso questões como o envolvimento e comprometimento da alta gestão, a ligação do LSS à estratégia do negócio e ao cliente e a capacitação de equipes nas técnicas do LSS são os fatores de maior relevância. Como estes fatores são de cunho estratégico e podem também estar relacionados à cultura das empresas, este estudo tem o foco na seleção e priorização de projetos de LSS.

Isto posto, surge a questão de pesquisa que motiva esta dissertação: como selecionar projetos de *Lean Six Sigma*, que realmente sejam adequados para o cenário atual da empresa e setores, voltados para o planejamento estratégico de negócios?

1.2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho foi propor método para priorização de projetos *Lean Six Sigma* baseado em fatores críticos de sucesso e fracasso.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Avaliar os fatores críticos de sucesso e fatores críticos de fracasso na implementação de projetos *Lean Six Sigma* em empresa de grande porte.
- Identificar a aplicação, vantagens e desvantagens de métodos de tomada de decisão multicritério disponíveis para seleção de projetos.
- Comparar método MCDM PROMETHE da escola europeia com o método MCDM ANP da escola americana por meio de uma aplicação prática.

1.3 DELIMITAÇÃO

Este trabalho é baseado em um estudo de métodos de tomada de decisão, utilizados para identificação e classificação de projetos *Lean Six Sigma*.

O estudo se limita às áreas de estudo de métodos multicritério de problemas discretos, com aplicação prática dos métodos de tomada de decisão multicritério PROMETHEE e ANP.

A aplicação do método foi realizada em empresa multinacional, com base de operações no Brasil.

1.4 JUSTIFICATIVA

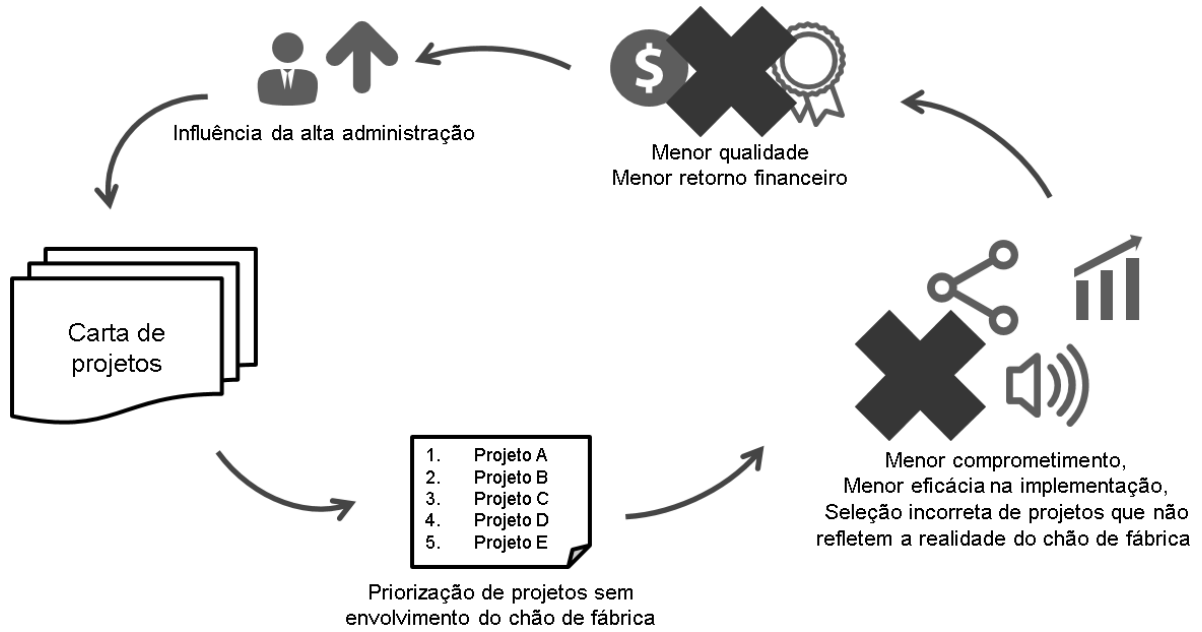
A eficácia na seleção de projetos LSS está entre os dez maiores fatores críticos de sucesso na implementação de LSS (ANTONY; LAUREANI, 2012), bem como, segundo Der Wiele (2014), a seleção ineficaz de projetos LSS está entre os três maiores fatores que levam a implementação de projetos LSS ao fracasso.

Os projetos de LSS obterão sucesso na empresa também se a alta gestão possibilitar às lideranças de chão de fábrica maior responsabilidade na criação de soluções e formulação da estratégia, com iniciativas de abordagens nas bases (PARKER, 2012). Assim sendo, a correta seleção destes projetos possibilita à alta administração ter maior confiança em delegar às lideranças de chão de fábrica.

Desta forma, se justifica um estudo de métodos de tomada de decisão para seleção de projetos LSS, aumentando assim consideravelmente o sucesso na seleção de projetos que de fato tragam retornos positivos em sua implementação.

O esquema apresentado na Figura 2, mostra um fluxo convencional de gestão de projetos LSS na indústria.

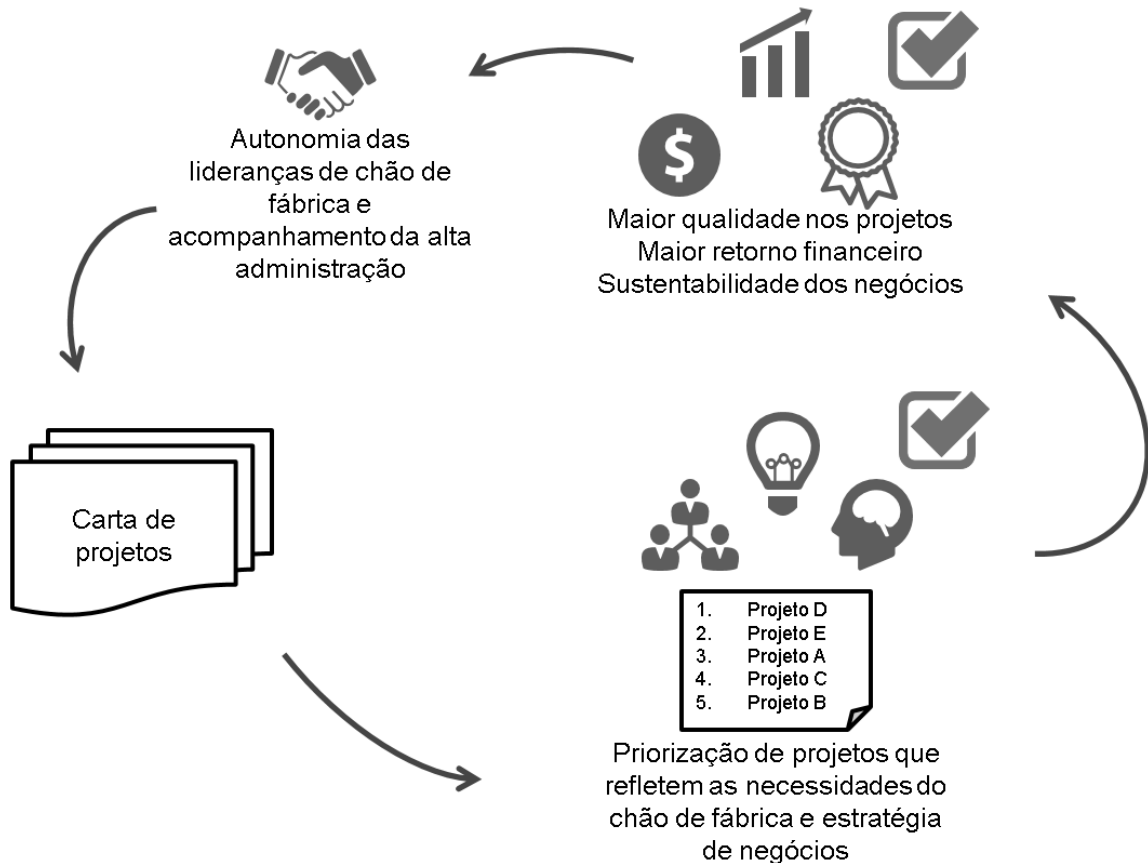
Figura 2 - Fluxo convencional de gestão de projetos LSS na indústria



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 3 é mostrado o fluxo proposto para gestão de projetos LSS na indústria.

Figura 3 - Fluxo proposto de gestão de projetos LSS na indústria



Fonte: Elaborado pelo autor

1.5 MÉTODO DE PESQUISA

De acordo com Martins (2014), este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa quantitativa com base em modelos, com objetivos empíricos normativos, visando descrever o modelo a partir de dados obtidos juntos ao objeto de estudo, ou seja, a partir de dados reais, completando o ciclo de “conceitualização – modelagem – validação – implantação”.

A validação desta pesquisa, também segundo Martins (2014) será feita por meio de testes com dados históricos do sistema real: se existirem dados históricos, parte é usada para a construção do modelo e a outra parte é usada para determinar se o sistema computacional se comporta de forma similar ao sistema real.

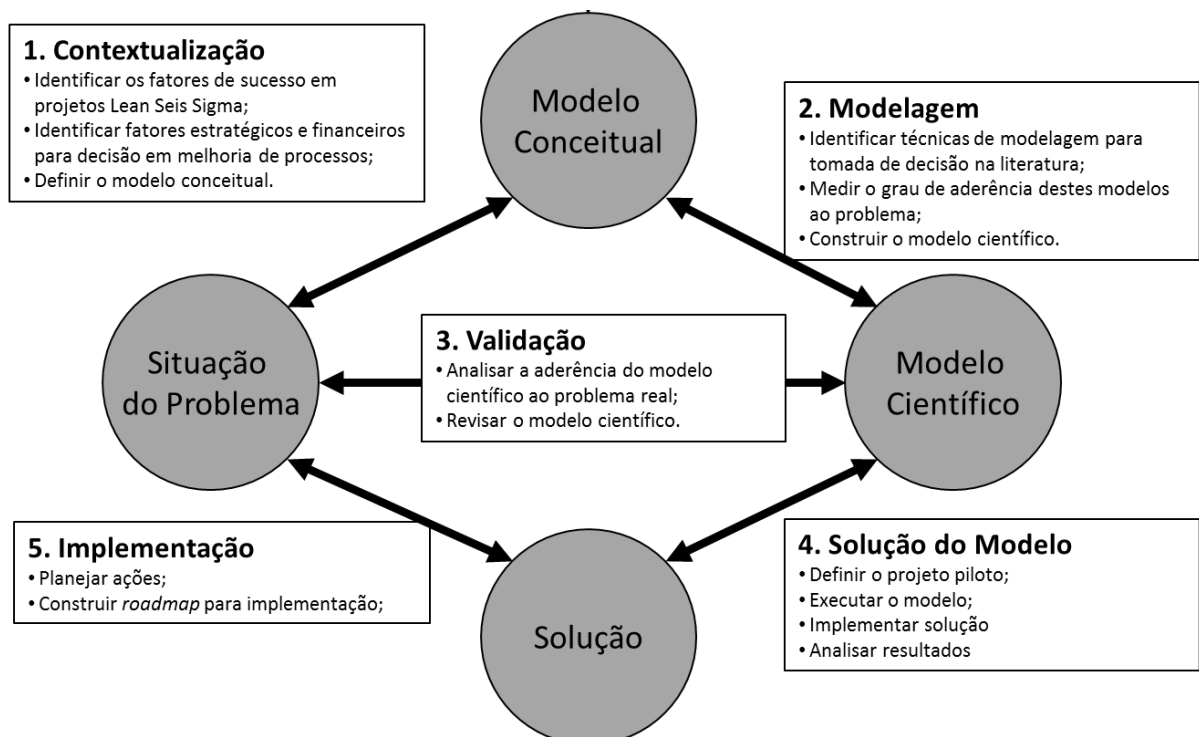
Esta pesquisa tem natureza aplicada (APPOLINÁRIO, 2006), uma vez que se objetiva solucionar o problema identificado no campo da seleção de projetos *Lean Six Sigma* em uma empresa. Do ponto de vista da estratégia metodológica, aborda aspectos qualitativos e quantitativos (DESLANDES, 2000), pois apresenta questões particulares em um nível de realidade que pode não ser totalmente quantificado, isto é, com motivos, crenças, valores, comportamentos e percepções individuais. Com referência a Bertrand e Fransoo (2002), este trabalho trata-se de uma pesquisa empírica normativa pois propõe desenvolver um modelo e o aplicar para resolver o problema de seleção de projetos *Lean Six Sigma*.

O método de pesquisa usado para conduzir o estudo é a Modelagem / Simulação, que segundo Morábito e Pureza (2010), aborda investigações quantitativas em que modelos de relações causais entre variáveis controladas e desempenho são desenvolvidos e analisados. Sua construção é baseada em um conjunto de variáveis que variam em domínios específicos com relações causais que definem a sua interdependência. O modelo básico que norteia a construção do método de pesquisa deste trabalho é o método desenvolvido, baseado no modelo de Mitroff *et al.* (1974), Figura 4.

Nesse método, segundo Bertrand e Fransoo (2002), na fase de conceitualização (*conceptualization*), o pesquisador, a partir da situação de um problema real, desenvolve o modelo conceitual decidindo quais variáveis precisam ser incluídas no modelo, direcionamentos e delimitação do escopo do modelo. Lembrando que a estrutura do modelo conceitual deverá ser desenvolvida de maneira a facilitar a abstração, visualização e interpretação dos elementos do sistema, pois uma estrutura bem desenvolvida possibilita a

progressão ordenada do estudo, onde todas as funções e variáveis disponíveis no ambiente real, interconexões e regras estabelecidas, serão investigadas e representadas por meio de esquemas e/ou descrições verbais (SARGENT, 2008). Na segunda fase, modelagem (*modeling*), transforma-se o modelo conceitual em um modelo científico. Uma vez construído este modelo, há a necessidade de verificar se o mesmo adere ao problema estudado, ou seja, fase de validação (*validation*). Com o modelo científico validado, validação feita por meio de uma comparação dos resultados reais de projetos previamente selecionados e implementados com a seleção feita por meio dos métodos de tomada de decisão multicritério (esta comparação será mostrada nas Seções 5.6 e 5.7 do Capítulo 4), passa-se para a fase de solução do modelo (*model solving*) provendo resultados que podem apresentar um *feedback* ao modelo conceitual, pois como um modelo científico não captura totalmente a realidade do problema, este *feedback* pode ajudar o pesquisador a verificar se o modelo científico produziu os resultados esperados pelo modelo conceitual. Finalmente, pode-se fechar o ciclo com a fase de implementação em que se busca resolver o problema real por meio do modelo científico. Com o objetivo de melhor apresentar as etapas desta pesquisa, a Figura 4 detalha o método desde a contextualização do problema, até a implementação do modelo científico.

Figura 4 - Método de Pesquisa



Fonte: Adaptado do modelo de Mitroff et al. (1974)

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O referencial teórico está contido no Capítulo 2, que possui dois tópicos. O primeiro trata das ferramentas *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*, bem como a junção de ambas e a seleção de projetos LSS. O segundo tópico é voltado ao referencial teórico de 11 métodos de tomada de decisão analisados neste trabalho.

O Capítulo 3 trata do método utilizado na pesquisa, como a definição dos critérios para seleção de projetos e classificação e escolha dos métodos de tomada de decisão.

A modelagem será discutida no Capítulo 4, e por fim a conclusão no Capítulo 5, sendo seguido pelas Referências Bibliográficas e Anexos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo aborda todo o referencial teórico em que o trabalho apresentado se baseia.

2.1 LEAN SIX SIGMA

O pensamento *Lean* (*Lean thinking*) surgiu inicialmente com o desenvolvimento da *Toyota Production System*, que Taiichi Ohno e associados estruturaram para ajudar a sobrevivência da empresa Toyota em um cenário de pouco capital e restrições de recursos durante a recuperação pós-guerra. Uma equipe de engenheiros da Motorola, liderada por Bill Smith em meados dos anos 80, desenvolveu o Six Sigma, objetivando melhores desempenhos do processo produtivo, sendo que todo o método foi amplamente disseminado pelo CEO da GE Jack Welch (FREITAS et al., 2017).

Lean Six Sigma (LSS) é um método que engloba um conjunto de ferramentas para a melhoria de negócios que integra dois métodos distintos de gestão: *Lean* e *Six Sigma* (PAMFILIEA et al., 2012). É definido como uma estratégia e método de negócios que aumenta o desempenho do processo e aprimora a satisfação do cliente, a liderança e os resultados financeiros (SNEE, 2010).

Tem como objetivo a melhoria da qualidade, a rapidez e os custos, utilizando ferramentas de ambos os métodos. Desta maneira utiliza o melhor das duas, aumentando a velocidade enquanto melhora a precisão (SNEE, 2010; LAUREANI; BRADY; ANTONY, 2013).

O termo *Lean Six Sigma* (ou *Lean Seis Sigma*) foi utilizado pela primeira vez entre o final da década de 1990 e começo do Século XXI, para descrever a combinação dos métodos *Lean* e *Six Sigma* (BYRNE et al., 2007). Sua popularização se iniciou na década de 2000, quando o termo *Lean Sigma* foi utilizado para descrever um sistema que combinava os princípios do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma*. Algumas empresas usam o termo *Lean Six Sigma* enquanto que outras usam *Six Sigma Lean*, dependendo do método aplicado inicialmente antes de sua integração (SALAH; RAHIM; CARRETERO, 2010).

O *Lean Six Sigma* é considerado uma ferramenta que visa melhorias voltadas à estratégia de negócios com foco na eliminação de desperdícios e variação dos processos, seguindo a

estrutura DMAIC (sigla para os termos *Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) que corrobora com a valorização das necessidades, se apoderando de dados e fatos para elaborar estratégias de médio e longo prazo, gerando maior desempenho financeiro para a empresa. O *Lean Six Sigma* proporciona melhorias rápidas e ações pontuais por meio das vantagens de ferramentas de cada método, eliminando suas principais fraquezas, tornando-se complementares. A unificação dos métodos permite a solução dos mais diversos tipos de problemas relacionados à melhoria de processos, obtendo-se melhores resultados (CELLIS; GARCIA, 2012; PAMFILIEA; PETCUU; DRAGHICIC, 2012; SALAH; RAHIM; CARRETERO, 2010).

De forma mais específica, o *Lean Six Sigma* é uma abordagem sistemática estruturada para a melhoria de resultados, com medidas para a redução da incidência de defeitos no produto final em até 3,4 defeitos por milhão, em consonância eliminando também o desperdício em torno de todos o processo de produção (FREITAS et al., 2017). Desenvolvido originalmente para aumentar produtividade no chão de fábrica, as ferramentas do LSS fornecem meios para melhorar o desempenho organizacional, principalmente devido à sua característica de buscar a melhoria dos processos com a propósito de alcançar resultados superiores em custo, produtividade e qualidade (SALAH et al., 2010).

De forma mais específica, Taghizadegan (2006) relata que o *Lean Six Sigma* baseia-se em três abordagens principais: é uma técnica orientada para a análise das causas dos problemas encontradas no sistema produtivo, eliminando defeitos e controlando os processos em seis desvios-padrão; envolve os empregados de forma a torná-los conhecedores da estratégia da empresa e da importância de atender a satisfação do cliente; ajusta o método de engenharia de projeto e técnicas com baixos riscos.

Em estudos recentes realizados sobre a aplicação do *Lean Six Sigma* na indústria confirma o método como uma ferramenta de melhoria que busca a excelência empresarial com vantagens como: eliminação de desperdícios; redução de defeitos; minimização de variações de processo; e aumento da qualidade. (KUMAR et al., 2006; THOMAS et al., 2009; THOMAS; BARTON, 2011; SPECTOR, 2006; HABIDIN; YUSOF, 2013).

Para alcançar o desempenho esperado na implantação do *Lean Six Sigma*, é preciso criar um amplo sistema de gerenciamento que envolva um plano de implementação estratégica. A integração dos sistemas deve considerar características estruturais na organização e contemplar mudanças culturais, novas abordagens para a produção e alto grau de treinamento e educação dos empregados (KUMAR et al., 2006).

A integração entre *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* complementa-se perfeitamente com grandes benefícios para as companhias, pois os métodos compartilham importantes princípios e objetivos, apesar das peculiaridades de cada técnica (TURRAS, 2009), tornando-se uma ferramenta com bastante utilidade para o setor industrial e serviços, essencial para uma completa estratégia competitiva (PANNELL, 2006).

O principal benefício por meio da ótica da fusão *Lean Six Sigma* é ser capaz de aumentar o fluxo e velocidade nos processos, reduzir perdas e custos (princípios *Lean*) e ao mesmo tempo alcançar melhorias na qualidade do produto e reduzir a variação indesejada dos processos (princípios *Six Sigma*) (AL-AOMAR, 2012; GREMYR; FOUQUET, 2012).

Segundo Pinto (2011), da fusão dos sistemas, surgem cinco leis que norteiam o processo de melhoria contínua:

- 1- Lei do Mercado: prioriza-se o que é crítico para a qualidade e para o cliente;
- 2- Lei da Flexibilidade: aperfeiçoa-se a velocidade por meio de processos flexíveis;
- 3- Lei do Foco: age diretamente nas causas principais dos problemas;
- 4- Lei da Velocidade: aumenta a velocidade do fluxo por meio da redução da quantidade de trabalho em processo;
- 5- Lei da complexidade e custo: reduz a complexidade do processo para gerar menores custos.

No *Lean Six Sigma*, são utilizadas em conjunto ferramentas de ambos os métodos, podendo existir ainda métodos originais do *Lean Six Sigma*, muitas vezes atuando de forma complementar, compensando as carências umas das outras (TURRAS, 2009).

O método DMAIC, pertencente à filosofia *Six Sigma*, pode ser aplicado como estratégia base em qualquer tipo de problema, inclusive aqueles tratados pelo *Lean Manufacturing*. Portanto, um projeto *Lean Six Sigma* é coordenado pelo uso do método DMAIC e, independentemente do processo em estudo, é essencial utilizar as ferramentas adequadas em cada uma das fases de implantação. A cada fase do DMAIC, é realizada uma avaliação do estado atual do programa para avançar à próxima etapa, iniciando o estágio seguinte somente depois de finalizar a etapa anterior (FERNANDES, 2008).

Segundo Salah, Rahim e Carretero (2010), a implantação do *Lean Six Sigma* deve seguir três fases: primeiro a definição de objetivos, segundo a seleção de pessoas e projetos e terceiro a implementação do programa, que inclui a formação técnica e os treinamentos necessários.

À medida que o *Lean Six Sigma* é implantado, o novo sistema exige mudanças culturais de todos os envolvidos, desde a gerência aos operadores de máquinas, em que são exigidas novas abordagens para a produção e atendimento dos clientes, alto grau de formação, educação e envolvimento dos funcionários, sendo este último um dos aspectos mais importantes na implantação do método. (PAMFILIEA; PETCUU; DRAGHICIC, 2012).

2.1.1 *Six Sigma*

O *Six Sigma* é uma estratégia de negócios que visa encontrar e eliminar as causas de defeitos e erros, reduzir os tempos de ciclo e custo das operações, melhorar a produtividade e atender melhor as expectativas dos clientes (PARAST, 2011).

Seu conceito foi desenvolvido pelo engenheiro William Smith, na ocasião funcionário da Motorola, para ser utilizado como uma ferramenta para melhorar a confiabilidade e a qualidade dos produtos, com foco especial na redução de defeitos e aperfeiçoar os processos de produção (KUMAR et al., 2008).

Nos anos 80, a Motorola foi a primeira organização a utilizar os princípios do *Six Sigma* como parte do seu programa de qualidade e melhoria contínua de seus processos. Desenvolvido inicialmente como uma estratégia operacional, o *Six Sigma* evoluiu para uma estratégia empresarial amplamente utilizada em todo o mundo corporativo (GIJO et al., 2014).

Especificamente na última década, o *Six Sigma* recebeu considerável atenção de companhias globais para maximizar o lucro das empresas, posicionando-se como uma ferramenta estratégica para geração de vantagem competitiva (MARZAGÃO; CARVALHO, 2016).

O *Six Sigma* é uma ferramenta de gestão flexível, abrangente, com aplicação disciplinada de seus conceitos, e que, por meio da melhoria contínua da qualidade dos produtos e processos, tem por objetivo principal sustentar e maximizar os resultados financeiros da empresa, concomitantemente com o aumento da satisfação do cliente (SHAFER; BOELLER, 2012).

Não somente uma técnica, mas um método de produção, o *Six Sigma* está focado na redução da variação de processos por meio de um método estruturado e aplicação de medidas estatísticas de desempenho (BÜYÜKÖZKAN; ÖZTÜRKCAN, 2010).

Os elementos-chave da abordagem *Six Sigma* são: a atenção especial às necessidades dos clientes, o uso de medidas de desempenho, foco na melhoria dos processos para reduzir sua variação, aplicação de métodos para resolver problemas e geração de resultados comerciais tangíveis (SHAFER; BOELLER, 2012).

De forma estatística, *Six Sigma* é o termo utilizado para representar uma variação média do processo limitada à 3,4 defeitos por milhão, ou uma taxa de 99,99966% de êxito (KWAK; ANBARI, 2006). Cada incremento sigma conduz à uma redução exponencial dos defeitos e a um aumento da confiabilidade. A escala Sigma de defeitos é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Significado da escala Sigma

Taxa de Acerto (%)	Taxa de Erro (%)	Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)	Escala Sigma
30,9	69,1	691.462	1
69,1	30,9	308.538	2
93,3	6,7	66.807	3
99,28	0,62	6.210	4
99,977	0,023	233	5
99,99966	0,00034	3,4	6

Fonte: Adaptado de TRAD e MAXIOMIANO, 2009

Empresas que atingem o patamar *Six Sigma* de produção são consideradas como classe mundial de qualidade (CHABUKSWAR et al., 2011).

No início do desenvolvimento do método *Six Sigma*, a Motorola baseou-se no ciclo de melhoria de processos PDCA (do inglês *Plan, Do, Check, Act*) para desenvolver seu próprio método de implantação (MAIC, siglas originadas de suas iniciais em Inglês *Measure, Analyse, Improve e Control*), baseado em quatro etapas para melhorar a qualidade de seus produtos (LIMA; GARBUIO; GOUVÊA, 2009).

Figura 5 - DMAIC



Fonte: GRAVES, 2014

Por meio destas fases, o modelo se aperfeiçoou ao inserir o estágio ‘Define’ e atingiu sua versão atual intitulada como método DMAIC, cujo ciclo é mostrado na Figura 5, que se baseia nos cinco passos abaixo (CHABUKSWAR et al., 2011):

- Definir: definir os objetivos dos processos de melhorias que são consistentes com as necessidades dos clientes e com a estratégia da empresa;
- Medir: realizar medidas dos processos atuais e coletar informações importantes para comparações futuras;
- Analisar: checar a relação e causalidade dos fatores, certificando que todos os fatores foram considerados;
- Melhorar: aperfeiçoar os processos estudados com base nas análises realizadas;
- Controlar: assegurar que todas as variações foram consideradas antes de se apresentarem como defeitos, controlando efetivamente o processo.

O DMAIC é uma abordagem estratégia desenvolvida especialmente para eliminar defeitos e reduzir a variação produtiva, gerando um ciclo de aperfeiçoamento contínuo (KUMAR et al., 2008).

2.1.2 *Lean Manufacturing*

Generalizando, *Lean Manufacturing*, também conhecido como Produção Enxuta, é a interpretação ocidental do Sistema Toyota de Produção. Traduzindo o termo para o português, *Lean* significa magro, sem gordura, esbelto, refletindo seu propósito de utilizar menos esforço humano, menos espaço, menos investimentos em ferramentas e menos tempo de engenharia para desenvolvimento e produção industrial (UITDEHAAG, 2011).

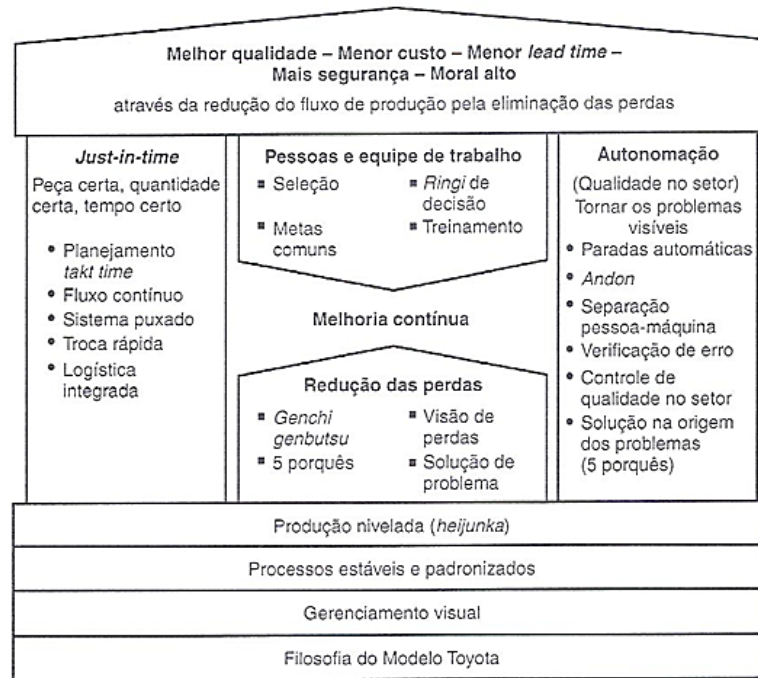
Lean Manufacturing, em uma visão geral, é uma estratégia para alcançar eficiência de recursos e de fluxo produtivo, priorizando a eficiência do fluxo (MODIG e ÅHLSTRÖM, 2012). Os caminhos para alcançar estes dois objetivos são ditos como uma mistura de aspectos técnicos e de gerenciamento, assim como estoque baixo e trabalhos de melhoria conduzidos pelo operador (KRAFCIK, 1988; LIKER, 2005; WOMACK et al., 1990).

Destacam-se algumas características que são frequentemente conectadas com o *Lean*, como por exemplo a melhoria contínua, mapeamento de fluxo de valor consistente, envolvimento dos empregados e o objetivo de mitigação de desperdícios (ASSARLIND et al., 2013).

O *Lean Manufacturing* possui origem no período pós Segunda Guerra Mundial, em que o Japão atravessava uma grande crise financeira com seu mercado interno limitado e grande falta de mão de obra especializada. Devastado pela guerra, o parque industrial japonês possuía poucos recursos financeiros para investir no sistema de produção em massa, que caracterizava o modo produtivo implantado por Henry Ford em suas fábricas (NUNES, 2010).

A partir desta situação, o vice-presidente da Toyota, Taiichi Ohno, notou que os métodos tradicionais de produção não eram mais aplicáveis à realidade japonesa. Ele observou também a necessidade de se criar um novo modelo gerencial que permitisse um sistema produtivo mais eficiente. Assim, foi elaborado um conjunto de métodos e técnicas produtivas que ficou conhecido como Sistema Toyota de Produção (Figura 6) e utilizado como base para o surgimento do *Lean Manufacturing*. Com o crescimento da utilização deste novo método nas indústrias, o Japão gradativamente se afastou da crise econômica, culminando no “milagre japonês” (UITDEHAAG, 2011).

Figura 6 - Elementos estruturais do Sistema Toyota de Produção



Fonte: LIKER, 2005.

Segundo Liker (2005), os 4P's que fundamentam o Sistema Toyota de Produção (Figura 6) e que impulsionaram as empresas japonesas são: *Philosophy* (Filosofia), *Process* (Processo), *People and Partners* (Pessoas e Parcerias) e *Problem Solving* (Solução de Problemas).

Em um passado mais recente, os princípios criados pela Toyota se espalharam por todo o mundo, apresentando ótimos índices de produtividade, qualidade e desenvolvimento de produtos, onde as empresas utilizam para se manterem competitivas em um mercado cada vez mais globalizado (AZIZ; HAFEZ,2013), o qual é um modelo de negócios que tem por objetivo eliminar desperdícios de produção e criar valor aos produtos. Por meio de práticas de trabalho que utilizam sinergia, o *Lean Manufacturing* proporciona um desempenho muito superior para os clientes, colaboradores, acionistas e sociedade em geral (BHASIN, 2012).

O pensamento *Lean* é um conjunto de ferramentas que objetiva a melhoria do fluxo de trabalho por meio de um sistema. Esta abordagem expõe os problemas de qualidade e busca a eliminação de todos os resíduos da cadeia que não agreguem valor ao produto (AZIZ; HAFEZ,2013).

É uma forma de criar valor por meio da formulação da melhor sequência de ações para executar determinadas tarefas, sem interrupções e de forma eficaz, produzindo mais com menos recursos (NUNES, 2010).

Womack e Jones (1996) propõem os cinco passos do pensamento *Lean* e que compõem os conceitos da mentalidade enxuta. Os autores afirmam que há um conjunto de atividades que devem ser seguidas para transformar problemas do método produtivo em fluxos operacionais bem organizados. Os passos são apresentados em sua sequência:

a) Valor: somente o cliente pode definir o valor do produto e a empresa deve focar e identificar as expectativas do cliente quanto ao produto final;

b) Identificar a cadeia de valor: identificar o fluxo de valor por meio da observação de cada atividade que o compõe, dissecando a cadeia produtiva e classificando os processos em três tipos de atividades: aquelas que agregam valor, aquelas que não agregam valor, mas são importantes para manter a qualidade do produto e aquelas que não agregam valor e devem ser evitadas imediatamente. Os processos que gerem desperdícios devem ser combatidos a fim de se permitir um ótimo fluxo de produtos, materiais e informações (NETO, 2008);

c) Criar fluxo contínuo: a eliminação de desperdícios permite a criação de um fluxo contínuo que evita interrupções nas atividades que agregam valor ao produto final. Deve-se focar nos produtos e necessidades dos clientes e reduzir atividades que não gerem valor;

d) Produção puxada: deve-se fabricar de forma que o cliente (e não a empresa) “puxe” a necessidade de produção e que os bens ou serviços alcancem o cliente somente quando solicitado, no momento certo. Esse princípio evita o acúmulo de produtos em estoque. A prática de fabricação puxada limita a quantidade de trabalho em progresso e reduz o tempo entre a concepção e lançamento do produto e entre a venda e a entrega;

d) Buscar a perfeição: esse é a essência do pensamento *Lean*. As interações dos quatro passos anteriores criam um círculo vicioso que expõe desperdícios, gerando valor de forma mais rápida ao fluxo produtivo. Assim, a cada novo pedido do cliente, novos desperdícios são identificados e eliminados, aperfeiçoando o sistema de forma contínua.

Ao examinar o pensamento *Lean* sob a vista de Womack e Jones (1996), observa-se que os cinco princípios eleitos pelos autores estão contidos dentro dos 14 princípios que sustentam o Sistema Toyota de Produção, e que este último está implicitamente embutido nos 4P's. Liker (2005) apresenta os 14 princípios que regem o modelo Toyota:

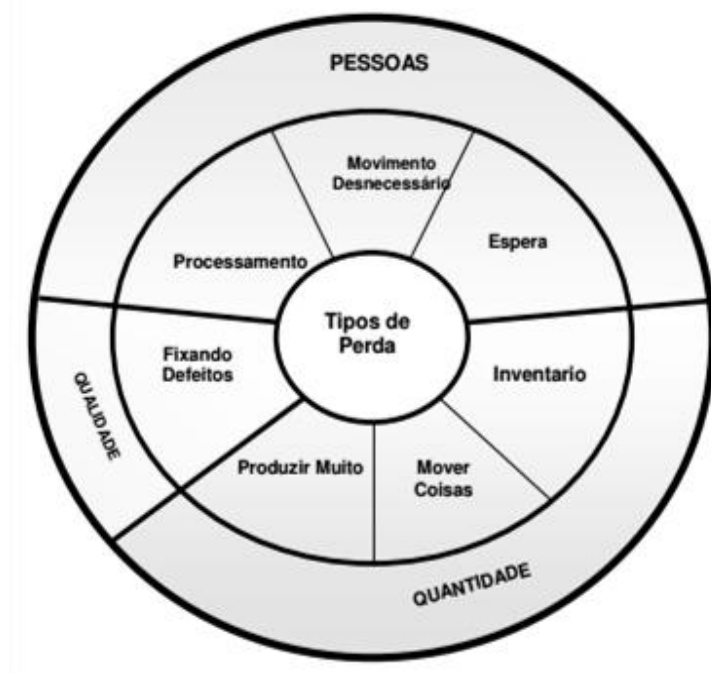
- Decisões administrativas devem se basear na filosofia de longo prazo, mesmo em detrimento de metas financeiras de curto prazo;
- Trazer problemas à tona por meio da criação de um fluxo de processo;
- Utilizar sistemas “puxados” para prevenir a superprodução;
- Nivelar a carga de trabalho;
- Desenvolver a cultura de interromper e solucionar problemas para que, logo na primeira tentativa, seja obtida a qualidade desejada;
- Padronizar tarefas é a base da melhoria contínua e da capacitação dos funcionários;
- Utilizar o controle visual para identificar problemas ocultos;
- Utilizar somente tecnologia confiável e testada e que atenda aos funcionários e processos;
- Desenvolver líderes que vivam a filosofia, compreendam completamente o trabalho e que possam ensinar aos outros;
- Desenvolver pessoas e equipes de forma excepcional e que sigam a filosofia da empresa;
- Respeitar, desafiar e cooperar com sua rede de parceiros e fornecedores;
- Ver por si mesmo para entender completamente a situação;
- Na tomada de decisões, fazê-la lentamente e por consenso, considerando todas as opções e implementá-las com rapidez;
- Ser uma empresa de aprendizagem por meio da reflexão incansável e da melhoria contínua.

Com relação ao desperdício, considera-se desperdício, segundo o *Lean*, toda atividade industrial que consuma algum tipo de recurso e que não agregue valor ao produto, sendo os sete tipos de perdas definidas por Taiichi Ohno e divulgados por Shigeo Shingo, consultor de qualidade da Toyota são: transporte de materiais, inventário, movimentação, espera, processos desnecessários, superprodução e defeitos (UITDEHAAG, 2011).

Há ainda um oitavo desperdício designado por subutilização do potencial de pessoas, relacionado diretamente com o poder de novas ideias, inovação e criatividade (HICKS, 2007).

Riani (2006) classifica os sete tipos de desperdícios descritos acima com três aspectos fundamentais da indústria: pessoas, quantidade e qualidade (Figura 7). O autor sugere ainda que atuar diretamente nestes três pontos, se possibilita reduzir ou eliminar perdas presentes no processo.

Figura 7 - Relação dos sete tipos de desperdícios com pessoas, quantidade e qualidade



Fonte: RIANI, 2006.

2.1.3 Ferramentas do *Lean Six Sigma*

Existem diversas ferramentas e técnicas de gestão de operações e qualidade que são utilizadas em *Lean* e *Six Sigma*, as quais as ferramentas do *Lean Six Sigma* possuem como base. Tais ferramentas são aplicadas de acordo com as demandas do processo-alvo (SPINA, 2007). O Quadro 2 correlaciona as algumas ferramentas do LSS com os artigos de referência e suas respectivas quantidades de citações. Esta Tabela foi elaborada utilizando o banco de dados *Scopus*, com o filtro das palavras-chave de cada ferramenta, "*Lean*", "*Six Sigma*" ou "*Lean Six Sigma*". Com os argumentos da pesquisa, segue exemplo com a pesquisa feita para a ferramenta *Brainstorming*: "*Brainstorming*" – AND – "*Lean*" – OR – "*Six Sigma*" – OR "*Lean Six Sigma*".

Quadro 2 - Principais ferramentas do Lean Six Sigma: autores e quantidade de citações dos artigos

Ferramentas	Autores que utilizam em seus trabalhos	Nº de citações
Brainstorming	DIEHL; STROEBE,1987	885
	BROWN, 2008	632
	KERR; TINDALE,2004	484
	SUTTON; HARGADON,1996	453
	MICHIE et al., 2008	421
	MULLEN; JOHNSON; SALAS,1991	371
	MCLEOD; LOBEL; COX JR,1996	287
	JUNG; AVOLIO,2000	283
	DENNIS; VALACICH,1993	278
	GALLUPE; BASTIANUTT; COOPER,1991	273
VSM - Mapeamento do fluxo de valor	ABDULMALEK; RAJGOPAL, 2007	337
	SETH; GUPTA, 2005	123
	BRAGLIA; CARMIGNANI; ZAMMORI, 2006	111
	OPPENHEIM, 2004	92
	SULLIVAN; MCDONALD; VAN AKEN, 2002	87
	LIAN; VAN LANDEGHEM, 2007	84
	CHEN; LI; SHADY, 2010	64
	HODGE; GOFORTH ROSS; JOINES; THONEY, 2011	61
	SERRANO; OCHOA; DE CASTRO, 2008	58
SETH; SETH; GOEL, 2008	57	
Pesquisa de Mercado	KOTLER; LEVY, 1969	729
	MATTHING; SANDÉN; EDVARDSSON, 2004	247
	FOLCH-LYON; TROST, 1981	119
	PEREZ-GARCIA et al., 2005	114
	QIU; LIU; RIFFAT, 2011	108
	MILLER; HOFSTETTER; KROHMER; ZHANG, 2011	105
	WENGER, 2008	105
	MARSH; STOCK, 2003	105
	WAGNER, 2008	104
POLLAY W., 2000	95	
QFD – Desdobramento da Função da Qualidade;	KAHRAMAN; ERTAY; BÜYÜKÖZKAN, 2006	351
	KARSAK; SOZER; ALPTEKIN, 2003	326
	WASSERMAN, 1993	295
	LIN; WANG; CHEN; CHANG, 2008	204
	PRASAD, 1998	143
	CARNEVALLI; MIGUEL, 2008	129
	BOTTANI; RIZZI, 2006	125
	PARTOVI; CORREDOIRA, 2002	125
	CHEN; WENG, 2006	117
MOSKOWITZ; KIM, 1997	115	

Continuando Quadro 2.

Ferramentas	Autores que utilizam em seus trabalhos	Nº de citações
Gráficos de Controle;	NOMIKOS; MACGREGOR, 1995	913
	MACGREGOR; KOURTI, 1995	676
	KOURTI; MACGREGOR, 1996	427
	LOWRY; MONTGOMERY, 1995	380
	LORENZEN; VANCE, 1986	374
	SPIEGELHALTER, 2005	331
	REYNOLDS; AMIN; ARNOLD; NACHLAS, 1988	291
	KANG; ALBIN, 2000	287
	WOODALL; SPITZNER; MONTGOMERY; GUPTA, 2004	272
	WOLD; KETTANEH; FRIDÉN; HOLMBERG, 1998	271
Nível Sigma ou Índice de Capacidade Sigma;	KOCH; YANG; GU, 2004	132
	GJO; RAO, 2005	61
	GJO; SCARIA, 2010	29
	SEIM; FER; BERNTSEN, 2010	13
	MANDAHAWI et al., 2010	11
	NISHIDA; TAKAHASHI; WAKAO, 2008	6
	SETIJONO, 2009	4
	GARCÍA-PORRES; ORTIZ-POSADAS, 2013	2
	HUTABARAT et al., 2013	1
CHAUDHURI; MUKHOPADHYAY; GHOSH, 2011	1	
Histograma;	YU; MACGREGOR, 2003	66
	KUYEL, 1999	44
	ANAGUN, 1998	25
	JIN; PARTHASARATHY; KUYEL; CHEN; GEIGER, 2003	25
	DAVIES, 1984	20
	DUFFUAA; BEN-DAYA, 1995	20
	DEB; CHAE; JO, 2008	14
	GOYAL; CHATTERJEE, 2008	13
	HAN; KIRKPATRICK; GREEN, 2009	13
CHATTOPADHYAY; CHATTOPADHYAY; DAN, 2011	12	
FMEA – Failure Modes and Effects Analysis;	PILLAY; WANG, 2003	266
	XU; TANG; XIE; HO; ZHU, 2002	199
	BILLINTON; WANG, 1998	154
	SEYED-HOSSEINI; SAFAEI; ASGHARPOUR, 2006	152
	ARABIAN-HOSEYNABADI; ORAEE; TAVNER, 2010	139
	KUTLU; EKMEKÇIOĞLU, 2012	131
	TSANG, 1995	127
	YANG; BONSALE; WANG, 2008	123
	RHEE; ISHII, 2003	108
STONE; TUMER; VAN WIE, 2005	106	
DOE – Design of Experiments;	LEE; KIM; SAMAD, 2008	42
	FAGERHOLM; GUINEA; MÄENPÄÄ; MÜNCH, 2014	16
	KIM; CHOI; HUSAIN; KIM, 2010	15
	JUNG; PARK; SONG, 2015	10
	THOMAS; LEWIS, 2007	10
	BRADY, 2001	10
	BENDATO; CASSETTARI; MOSCA; ROLANDO, 2015	9
	BESSERIS; KREMMYDAS, 2014	8
	BESSERIS, 2011	8
GOH, 1996	8	

Continuando Quadro 2.

Ferramentas	Autores que utilizam em seus trabalhos	Nº de citações
Gráfico de Pareto;	DOES et al., 2009	22
	MUKHOPADHYAY; RAY, 2006	10
	ALLEN; TSENG; SWANSON; MCCLAY, 2010	8
	BHANUMURTHY, 2012	8
	GUPTA; GARG, 2015	1
	LIU; YE; SUN; DONG; WANG, 2014	1
	HAWES; JONES, 2004	0
	CHEN; BRAHMA, 2014	0
	NAM, H. 2013	0
	WANG et al., 2010	0
Diagrama de Causa e Efeito;	ARVANITTOYANNIS; VARZAKAS, 2008	18
	ARVANITTOYANNIS; VARZAKAS, 2009	8
	ULEWICZ, 2014	7
	KITCHER; MCCARTHY; TURNER; RIDGWAY, 2013	7
	VARZAKAS, 2011	4
	CHEN; ZHANG, 2014	2
	SIMON et al., 2013	1
	ARVANITTOYANNIS et al., 2009	1
	SUYAMA, 1993	1
	KRUGER, 2017	0
Setup rápido;	SAHOO; SINGH; SHANKAR; TIWARI, 2008	39
	PARVEEN; RAO, 2009	25
	MARUDHAMUTHU; KRISHNASWAMY; PILLAI, 2011	13
	PETER; LANZA, 2011	13
	BURCHER; DUPERNEX; RELPH, 1996	11
	FILHO; UZSOY, 2013	10
	SURESH; SYATH, 2012	10
	VERHELST; SIERENS, 2007	9
	FERRADÁS; SALONITIS, 2013	8
	GADRE; CUDNEY; CORNS, 2011	8
Lead Time e Work in Process (WIP);	CHEN; DREZNER; RYAN; SIMCHI-LEVI, 2000	1010
	SMITH; EPPINGER, 1997	379
	HOST; REGNELL; WOHLIN, 2000	295
	IYER; BERGEN, 1997	286
	KARMARKAR UDAY, 1987	271
	CONWAY; MAXWELL; MCCLAIN; THOMAS, 1988	261
	EPPEN; IYER, 1997	259
	BEN-DAYA; RAOUF, 1994	258
	UZSOY; LEE; MARTIN-VEGA, 1994	243
	OUYANG; YEH; WU, 1996	220
Tecnologia da Informação;	ANDERSON-COOK et al., 2012	17
	RAY; JOHN, 2011	7
	SCINTO, 2011	4
	BON; RAHMAN, 2009	1
	YE; LIU; CHEN; HAN; ZHU; DAI, 2013	0
	TUA SITORUS, 2011	0
	BING; CHANG; BING, 2010	0
	HARDASH; HAMILTON, 2010	0
TESTANI et al., 2009	0	

Continuando Quadro 2.

Ferramentas	Autores que utilizam em seus trabalhos	Nº de citações
<i>Kanban;</i>	RIEZEBOS; KLINGENBERG W.; HICKS, 2009	58
	WANG; CONBOY; CAWLEY, 2012	49
	ÁLVAREZ; CALVO; PEÑA; DOMINGO, 2009	49
	MAREK; ELKINS; SMITH, 2001	48
	POPPENDIECK; CUSUMANO, 2012	27
	SCHROER, 2004	27
	PARVEEN; RAO, 2009	25
	STUMP; BADURDEEN, 2012	20
	SO; SUN, 2011	19
	LEE-MORTIMER, 2008	19
Arranjo físico celular;	DIGH et al., 1989	140
	YANO; SASAKI; RIKINO; SEKI, 1996	138
	PRINCE; KAY, 2003	76
	AASE; OLSON; SCHNIEDERJANS, 2004	49
	PATTANAİK; SHARMA, 2009	47
	PONTOPIIDAN et al., 1999	32
	WU; LOW, 2012	20
	MABRY BRANDON; MORRISON KENNETH, 1996	18
	WU; LOW; JIN, 2013	17
	DE CARLO; ARLEO; BORGIA; TUCCI, 2013	17
Operador polivalente;	FREDENDALL; OJHA; WAYNE, 2010	56
	GURUMURTHY; KODALI, 2011	48
	SLOMP; BOKHORST; GERMS, 2009	37
	PORTIOLI-STAUDACHER; TANTARDINI, 2012	16
	BALLARD, 2005	16
	ESFANDYARI; OSMAN; ISMAIL; TAHRIRI, 2011	14
	HUNTER, 2008	9
	ALVES; TOMMELEIN; BALLARD, 2005	9
	HUNTER; BULLARD; STEELE, 2004	9
HAIDER; MIRZA, 2015	7	
<i>Poka-yoke;</i>	KUMAR; STEINEBACH, 2008	24
	KUMAR; WOLFE; WOLFE, 2008	16
	KUMAR; STRANDLUND; THOMAS, 2008	11
	SAURIN; RIBEIRO; VIDOR, 2012	10
	TOMMELEIN, 2008	8
	VINOD; DEVADASAN; SUNIL; THILAK, 2015	4
	WASIM et al., 2013	4
	SENTHILKUMAR et al., 2012	3
	ZHANG, 2014	2
MIRALLES et al., 2011	2	
Nivelamento da produção;	YU; TWEED; AL-HUSSEIN; NASSERI, 2009	40
	BHAMU; KHANDELWAL; SANGWAN, 2013	17
	OHLMANN W.; FRY; THOMAS W., 2008	15
	DA ALVES et al., 2009	7
	NARANG, 2008	7
	MARKSBERRY; BADURDEEN; MAGINNIS, 2011	5
	DEIF; ELMARAGHY, 2014	4
	BOHNEN; BUHL; DEUSE, 2013	3
	DE ARAUJO; DE QUEIROZ, 2010	2
BUHL; BOHNEN; DEUSE; SCHNEIDER, 2009	2	

Continuando Quadro 2.

Ferramentas	Autores que utilizam em seus trabalhos	Nº de citações
Procedimento de trabalho padrão;	YERIAN; SEESTADT; GOMEZ; MARCHANT, 2012	4
	LU; YANG, 2015	2
	PEREIRA et al., 2016	1
	ROBINSON; KIRSCH, 2015	1
	JEFFRIES; ZIMMERMAN; ALBERT; HARTMANN, 2015	1
	RIBEIRO; ALVES; MOREIRA; FERREIRA, 2013	1
	BHULLAR; GAN W.; LIM; TOH; MA, 2016	0
	RAO; NEPAL; YADAV, 2015	0
	BRAGANÇA; COSTA, 2015	0
	ALLEN, 2012	0
Produção em pequenos lotes;	BOZER; CIEMNOCZOŁOWSKI, 2013	13
	BULHÓES; PICCHI; FOLCH, 2006	9
	CIEMNOCZOŁOWSKI; BOZER, 2013	8
	ŠTEFANIĆ; TOŠANOVIĆ; ČALA, 2010	5
	QIU; WANG; LI; WANG, 2006	3
	FLORENT; ZHEN; ROMARIC, 2009	2
	BULHÓES; PICCHI, 2008	1
	FAN; DENG, 2016	0
	LÖSER; HEUER, 2015	0
	BAI; XIA; ZENG, 2014	0
Controle visual do processo;	PARRY; TURNER, 2006	62
	LAINE; ALHAVA; KIVINIEMI, 2014	3
	SUBRAMONIAM; ABUSAMRA; HOSTETLER, 2009	2
	LI, 2008	2
	YU; AL-HUSSEIN; TELYAS, 2008	1
	PARRY, 2005	1
	WAN; LIAO; KURIGER, 2012	0
	TARANTINO, 2011	0
	TARANTINO, 2009	0
	KOIDE; IWATA, 2006	0
Kaizen Melhoria Contínua;	CHEN; LI; SHADY, 2010	64
	RAHANI; AL-ASHRAF, 2012	55
	HWANG; KATAYAMA, 2009	44
	MODARRESS; ANSARI; LOCKWOOD, 2005	36
	PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014	30
	MICHAELS, 1999	25
	VAIS; MIRON; PEDERSEN; FOLKE, 2006	24
	EMILIANI, 2000	21
	SMITH et al., 2012	14
	DOMAN, 2011	14
Treinamento do cliente.	GARCIA; RUNNELS, 1984	1
	ASAN; BILGEN, 2015	0
	GAO; ZHAO; LI, 2007	0
	WANG et al., 2007	0
	GILES, 2004	0
	WRAIGE, 2004	0
	STARR, 2004	0
	NORTH, 2003	0
GREENFIELD, 1992	0	

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.4 Fatores de Sucesso em Projetos *Lean Six Sigma*

O interesse das empresas em projetos de melhoria contínua voltados à manufatura enxuta (*Lean manufacturing*) é baseado quase sempre na evidência empírica de que se aumenta a competitividade da empresa (TEO, 2010).

A literatura referente ao *Lean Six Sigma* está repleta de histórias de sucesso em empresas que fizeram a sua implementação visando alcançar melhorias na qualidade. Entretanto, existem muitas empresas que não tiveram tal sucesso (DOUGLAS et al., 2015).

Fatores Críticos de Sucesso (CSF) são os fatores críticos para o sucesso de qualquer organização no sentido de que, se os objetivos associados com os fatores não são alcançados, a organização vai falhar lamentavelmente (ENOCH, 2013). São definidos como itens essenciais que precisam ser atingidos pela empresa para identificar as áreas que possuem melhor capacidade de aumentar a competitividade (TEO, 2010).

Antony (2012) conceitua os fatores críticos de sucesso como aqueles que, se os objetivos associados com estes fatores não são alcançados, a aplicação da técnica talvez falhará catastróficamente.

A primeira tentativa para definir sucesso em projetos surgiu em 1960, associada com a meta do tradicional triângulo: tempo, custo de implementação, e o desempenho e qualidade designados das entregas do projeto (PANDREMMENOU et al., 2012).

Gradualmente o sucesso foi redefinido e associado com conceitos como: a efetividade de administração de gerenciamento de processos, satisfação dos clientes de entregas de projetos, criação de valor agregado à empresa e também encontro entre a satisfação dos *stakeholders* e alcance do escopo do projeto (JONAS, 2010).

Alcançando teorias correntes sobre sucesso em projetos, coincide com a seleção de práticas de gerenciamento apropriadas por meio do ciclo de vida do projeto (SAVOLAINEN et al., 2011).

Existe na literatura associada aos CSFs vários autores que classificam os fatores mais críticos de sucesso e propõem ações para que as empresas tenham cautela nas implementações de projetos de melhoria contínua, seja *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, ou *Lean Six Sigma* (BRUN, 2011). Teo (2010) também classifica em seu artigo três categorias genéricas de critérios para seleção de projetos *Lean Six Sigma*:

- 1- Os critérios de benefícios de negócios: impacto nos requisitos de reuniões externas com o cliente, impacto financeiro e impacto nas competências principais.
- 2- Os critérios de viabilidade: recursos necessários, complexidade e conhecimentos disponíveis.
- 3- Os critérios de impacto organizacional: benefícios multifuncionais e benefícios de aprendizagem, ou seja, novos conhecimentos adquiridos sobre os negócios, clientes e processos.

Um outro fator-chave do sucesso do *Lean Six Sigma* é a possibilidade de recrutar os melhores recursos na empresa; ligando caminhos de carreira do pessoal às realizações pessoais no âmbito do programa *Six Sigma* e contribuir para o seu sucesso, sendo fatores críticos de sucesso pois aumentam a motivação e comprometimento das equipes envolvidas (BRUN, 2011).

Os projetos de LSS obterão sucesso na empresa também se a alta gestão possibilitar às lideranças de chão de fábrica maior responsabilidade na criação de soluções e formulação da estratégia, com iniciativas de abordagens nas bases (PARKER, 2012).

Foram inseridos no Quadro 3 os CSFs e a quantidade de aparições versus artigos que foram mencionadas na pesquisa realizada em artigos acadêmicos voltados a *Lean Six Sigma*.

Quadro 3 - CSFs encontrados na pesquisa de artigos relacionados a projetos LSS

Quantidade mencionada	CSF macro	Artigo	CSF - definida pelo autor
15	Gerenciamento de projetos e equipe do LSS	LAUREANI et al., 2012	Definição clara de expectativas e seleção cuidadosa dos líderes de projeto
		LAUREANI et al., 2012	Habilidades de gerenciamento de projeto
		ANTONY et al., 2007	Habilidades de gerenciamento de projetos
		HENDERSON et al., 2000	Habilidades de gerenciamento de projetos
		ANTONY et al., 2005	Habilidades de gerenciamento de projetos
		BRUN, 2011	Habilidades de gerenciamento de projetos.
		MANVILLE et al., 2012	Habilidades interpessoais dos líderes de projeto de melhoria
		MANVILLE et al., 2012	Habilidades técnicas dos líderes de projeto de melhoria
		CORONADO et al., 2002	Sistema de gerenciamento do processo bem implementado
		DOUGLAS et al., 2015	Seleção da equipe e as pessoas certas dentro da equipe
		MANVILLE et al., 2012	Nível de habilidades técnicas do facilitador de implementação
		MANVILLE et al., 2012	Nível de influência do facilitador de implementação
		MANVILLE et al., 2012	Nível habilidades interpessoais do facilitador de implementação
		GOLDSTEIN, 2001	Suporte técnico (MBBs)
		WAXER, 2004	Time de gerenciamento de compras e suporte
15	Comprometimento e envolvimento da liderança e alta gestão	PARKER, 2012	Comprometimento da alta gestão, suporte e entusiasmo
		ENOCH, 2013	Comprometimento da gerência
		LAUREANI et al., 2012	Comprometimento da gestão visível e sustentado
		HENDERSON et al., 2000	Comprometimento e envolvimento da gestão
		BRUN, 2011	Comprometimento e envolvimento da gestão.
		TEO, 2010	Comprometimento visível da gestão
		ANTONY et al., 2007	Compromisso e participação da gestão
		HENDERSON et al., 2000	Envolvimento da gestão
		LAUREANI et al., 2012	Envolvimento e comprometimento da gestão
		DOUGLAS et al., 2015	Envolvimento e compromisso da alta gestão
		ANTONY et al., 2005	Envolvimento e participação gestão
		HENDERSON et al., 2000	Liderança e comprometimento da alta gestão
		ACHANGA et al., 2006	Liderança e gestão
		ENOCH, 2013	Liderança forte
		GOLDSTEIN, 2001	Participação ativa dos executivos seniores
15	Capacitação e educação	GOLDSTEIN, 2001	Treinamento
		ANTONY et al., 2005	Treinamento
		HENDERSON et al., 2000	Treinamento
		ANTONY et al., 2007	Treinamento e educação
		HENDERSON et al., 2000	Ferramentas estatísticas.
		TEO, 2010	Comunicação das histórias de sucessos e fracassos
		CORONADO et al., 2002	Sistema de educação e capacitação
		LAUREANI et al., 2012	Educação contínua e treinamento dos gerentes e participantes
		WAXER, 2004	Educação e capacitação
		BRUN, 2011	Educação e capacitação.
		TEO, 2010	Entendimento compartilhado dos principais processos de negócio
		HENDERSON et al., 2000	Capacitação
		PARKER, 2012	Capacitação e educação.
		LAUREANI et al., 2012	Capacitação.
		ENOCH, 2013	Força de trabalho habilmente adequada

Continuando Quadro 3

Quantidade mencionada	CSF macro	Artigo	CSF - definida pelo autor
15	Seleção, priorização e rastreabilidade de projetos LSS	GOLDSTEIN, 2001	Seleção de projetos
		DOUGLAS et al., 2015	Seleção de projetos
		HENDERSON et al., 2000	Seleção de projetos, revisão e rastreamento
		PARKER, 2012	Seleção e priorização de projetos
		BRUN, 2011	Seleção e priorização de projetos.
		LAUREANI et al., 2012	Seleção, revisão e rastreabilidade de projetos
		GOLDSTEIN, 2001	Revisões de projetos
		GOLDSTEIN, 2001	Rastreamento de projetos
		ANTONY et al., 2007	Acompanhamento e avaliações de projetos.
		DOUGLAS et al., 2015	Avaliações regulares e acompanhamento do projeto
		LAUREANI et al., 2012	Pegar e selecionar estrategicamente projetos importantes
		GOLDSTEIN, 2001	Plano de implementação
		ANTONY et al., 2007	Priorização e seleção de projetos
		TEO, 2010	Seleção das pessoas corretas e dos projetos corretos.
ANTONY et al., 2005	Priorização e seleção de projetos.		
11	Fornecedores, disponibilidade de recursos e Suprimentos	BRUN, 2011	Ligar SS aos fornecedores.
		ANTONY et al., 2005	Ligação do Six Sigma aos fornecedores
		LAUREANI et al., 2012	Ligação do Six Sigma aos fornecedores
		ANTONY et al., 2007	Integração do Six Sigma com a infraestrutura financeira
		HENDERSON et al., 2000	Ligação de Sesi Sigma com suprimentos
		GOLDSTEIN, 2001	Recursos disponíveis todo período versus em tempo parcial
		CORONADO et al., 2002	Sistema de gerenciamento de suprimentos bem desenvolvido
		GOLDSTEIN, 2001	Plano de fornecedor
		WAXER, 2004	Comprometimento de recursos
		ACHANGA et al., 2006	Finanças
		DOUGLAS et al., 2015	Alocação de recursos para a formação e aos projetos
11	Mudança cultural da organização	DOUGLAS et al., 2015	Gestão da cultura organizacional
		HENDERSON et al., 2000	Mudança cultural
		LAUREANI et al., 2012	Mudança cultural
		ANTONY et al., 2007	Mudança cultural
		ANTONY et al., 2005	Mudança cultural
		BRUN, 2011	Mudança cultural.
		DOUGLAS et al., 2015	Proprietários de processos responsáveis por sustentar os ganhos.
		ANTONY et al., 2007	Compromisso de toda a empresa
		ACHANGA et al., 2006	Cultura da organização destinatária.
		BRUN, 2011	Cultura e infraestrutura organizacional.
DOUGLAS et al., 2015	Proprietários de processos responsáveis por sustentar os ganhos.		
10	Conhecimento das ferramentas LSS	BRUN, 2011	Conhecimento das ferramentas e técnicas com SS.
		ENOCH, 2013	Consciência e entendimento do LSS
		ANTONY et al., 2007	Entendimento do DMAIC
		LAUREANI et al., 2012	Entendimento do Six Sigma, ferramentas e técnicas
		PARKER, 2012	Entendimento e compreensão das ferramentas e técnicas
		DOUGLAS et al., 2015	Compreensão dos métodos integrados
		ANTONY et al., 2005	Compreensão do método Six Sigma
		HENDERSON et al., 2000	Compreensão do método, ferramentas e técnicas do Six Sigma
ACHANGA et al., 2006	Habilidades e competências		
DOUGLAS et al., 2015	Compreensão das ferramentas e técnicas da LSS		

Continuando Quadro 3

Quantidade mencionada	CSF macro	Artigo	CSF - definida pelo autor
9	Foco no cliente	ANTONY et al., 2007	Foco no cliente
		PARKER, 2012	Ligação do LSS com os clientes
		ANTONY et al., 2005	Ligação do <i>Six Sigma</i> aos clientes
		BRUN, 2011	Ligar SS ao cliente.
		HENDERSON et al., 2000	Ligação do <i>Six Sigma</i> com os clientes
		GOLDSTEIN, 2001	WOWs de clientes
		TEO, 2010	Definição limpa de requisitos do cliente
		CORONADO et al., 2002	Sistema de gerenciamento do cliente bem implementado
9	Infraestrutura organizacional	ENOCH, 2013	Satisfação dos clientes
		HENDERSON et al., 2000	Infraestrutura organizacional
		LAUREANI et al., 2012	Infraestrutura organizacional
		HENDERSON et al., 2000	Infraestrutura organizacional
		ANTONY et al., 2007	Infraestrutura organizacional
		ANTONY et al., 2005	Infraestrutura organizacional
		ENOCH, 2013	Viabilização financeira e infraestrutura
		MANVILLE et al., 2012	Competência organizacional medida pela aderência de vários CSFs
		GOLDSTEIN, 2001	Comunicações
8	Recursos humanos, recompensas e reconhecimento	GOLDSTEIN, 2001	Ambiente seguro
		HENDERSON et al., 2000	Ligação do <i>Six Sigma</i> aos empregados (recursos humanos).
		WAXER, 2004	Ligação para compensação.
		ANTONY et al., 2005	Ligando do <i>Six Sigma</i> aos funcionários
		BRUN, 2011	Ligar SS ao RH.
		GOLDSTEIN, 2001	Programa de incentivo
		ANTONY et al., 2007	Programa de incentivo
7	LSS ligado à estratégia de negócios da empresa	TEO, 2010	Recompensa e reconhecimento dos membros da equipe
		CORONADO et al., 2002	Sistema de gerenciamento de recursos humanos bem desenvolvido.
		PARKER, 2012	Ligação do LSS com as estratégias de negócios
		ANTONY et al., 2005	Ligação do <i>Six Sigma</i> à estratégia de negócios
		HENDERSON et al., 2000	Ligação do <i>Six Sigma</i> com estratégia de negócios
		LAUREANI et al., 2012	Ligação do <i>Six Sigma</i> com estratégia de negócios
		BRUN, 2011	Ligar SS à estratégia de negócios.
9	LSS ligado à estratégia de negócios da empresa	ANTONY et al., 2007	Ligação do <i>Six Sigma</i> para a estratégia de negócios
		CORONADO et al., 2002	Sistema de planejamento estratégico bem desenvolvido

Fonte: Elaborado pelo autor

2.1.5 Fatores críticos de fracasso em projetos *Lean Six Sigma*

Os Fatores Críticos de Fracasso, sigla CFF (do Inglês "*Critical Failure Factors*") são definidos como as áreas ou os aspectos-chave onde existe a chance de algo dar errado e que a consequência disso seja a grande probabilidade de que o processo de implementação do ERP

alcance um alto nível de falha (GARG, GARG, 2013; GANESH, MEHTA, 2010; DER WIELE, 2014). Der Wiele (2014) também define falha como uma implementação que não alcança o suficiente retorno de investimento identificado na definição da aprovação do projeto.

Embora várias empresas tiveram sucesso implementando iniciativas de melhoria contínua como *Lean* e *Six Sigma*, um número considerável de empresas falharam ao obter quaisquer benefícios após a implementação e outras por fim falharam em alcançar os resultados esperados (KUMAR et al., 2008; MARTINEZ-JURADO, MOYANO-FUENTES, 2013; DER WIELE, 2014).

As altas gestões das empresas precisam estar atentas não somente aos fatores críticos de sucesso, mas também aos mais comuns fatores de fracasso que levam outras organizações do mesmo nicho tecnológico a fracassar em seus projetos de LSS (TEO, 2010; DER WIELE, 2014, MANVILLE et al., 2012). Faz-se também necessária a compreensão da prontidão de suas empresas e a sua capacidade antes de iniciar qualquer projeto LSS, garantindo o apoio à equipe de LSS, sendo que a falta de apoio da alta gestão aumenta a probabilidade de um projeto inteiro fracassar (MANVILLE et al., 2012; DER WIELE, 2014).

Ao longo dos últimos anos, nota-se um grande e perceptível aumento na popularidade do LSS, principalmente nas grandes potências ocidentais (DER WIELE, 2014). De acordo com a pesquisa de Der Wiele (2014), baseado nas implementações de grandes, pequenas e médias empresas, pôde-se pontuar os cinco maiores CFFs para a implementação do LSS, tais como:

- 1- Falta de comprometimento, envolvimento e atitude da alta gestão. De fato, conforme foi visto na Tabela 4, um dos maiores fatores críticos de sucesso na indústria durante a implementação do LSS é referente ao comprometimento, envolvimento e participação da alta gestão. Desta forma, como salienta Snee (2010), a probabilidade de fracasso sem o suporte da alta gestão é muito grande, e o seu papel é garantir a disponibilidade de recursos e minimizar os obstáculos (MARTINEZ-JURADO, MOYANO-FUENTES, 2013; SNEE, 2010).
- 2- Falta de treinamento e educação foi citado como o segundo maior fracasso na implementação de projetos LSS. Treinamento, capacitação e educação precisam ser vistos como um fator crítico de sucesso na implementação de projetos LSS (LAUREANI; ANTONY, 2012; SNEE, 2010), o que pode gerar inclusive economia para empresa com a redução dos custos de fabricação (BHASIN, 2012).

- 3- As deficientes seleção e priorização de projetos são pontuadas como terceiro maior fator crítico de fracasso, pois a seleção de um projeto errado pode levar todos os esforços desempenhados em LSS ao fracasso (DUARTE et al., 2012). A seleção correta de projetos LSS é uma garantia do melhor retorno às empresas (PEPPER; SPEDDING, 2010; SNEE, 2010), sendo que o projeto mais apropriado é aquele que tem maior potencial de benefícios a partir de seu início, de acordo com Laureani e Antony (2012).
- 4- A falta de recursos também é pontuada como um dos maiores problemas na maioria das empresas e diferentes setores que estão em processo de implementação de projetos LSS (ABOELMAGED, 2011; DER WIELE, 2014).
- 5- O fraco elo entre projetos de melhoria contínua e os objetivos estratégicos de uma empresa, for fim, também é um CFF bastante considerável. É importante selecionar projetos que possuem alinhamentos com as metas estratégicas (visão de excelência) da empresa (LAUREANI; ANTONY, 2012).

2.1.6 Seleção de Projetos *Lean Six Sigma*

A gestão de projetos tem sido cada vez mais implantada nas empresas, principalmente de médio a grande porte, em busca de vantagens competitivas, cujos bons resultados e benefícios são visíveis mesmo quando seu processo de implantação ainda não está maduro (NETTO et al., 2009).

A correta gestão do portfólio de projetos de uma corporação está diretamente ligada às chances de sucesso no cumprimento de metas e estratégias da empresa, tornando também a seleção de projetos em um portfólio mais transparente e rastreável (CARVALHO; RABECHINI, 2006).

Com a finalidade de se alcançar os objetivos de uma empresa, tem-se o processo de avaliação de projetos individuais ou grupos, fazendo-se a seleção de um ou um conjunto de projetos que tenham os melhores resultados (MARQUES et al., 2013).

Antes de categorizar os projetos LSS a serem priorizados, deve-se primeiramente verificar o que na empresa (ou em determinado setor) é crítico para a qualidade. Uma vez que é conhecido este fator crítico para a qualidade, faz-se a promoção dos projetos LSS para garantir

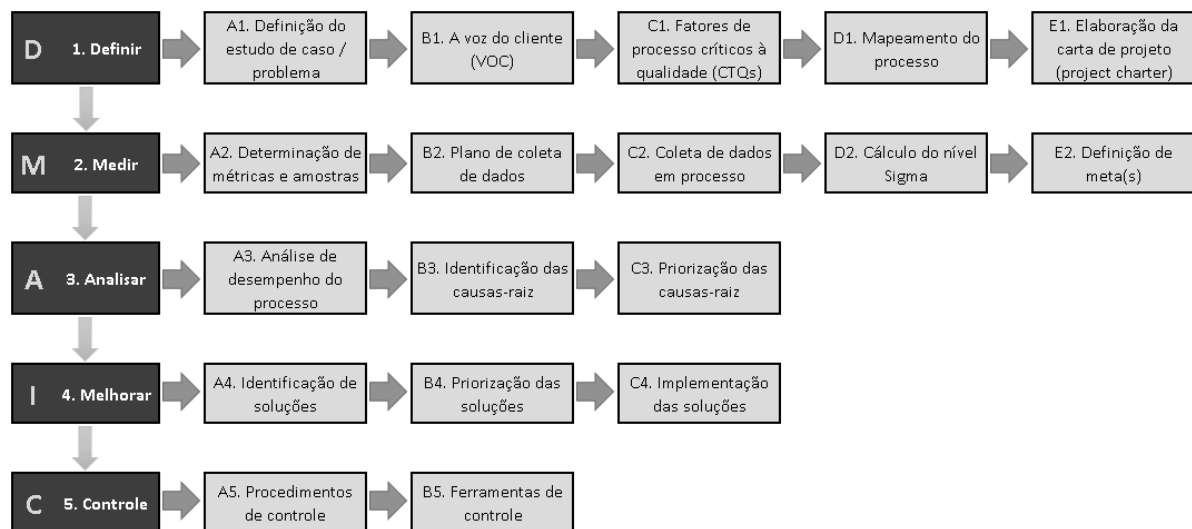
a melhoria dos indicadores de desempenho frente a estes detratores (FERNANDES; TURRIONI, 2007).

Fernandes e Turrioni (2007) ainda salientam algumas diretivas para seleção de projetos:

- a) Seleção visando resultados potenciais: foco no cliente, ligação com a estratégia do negócio e retorno financeiro.
- b) Seleção de projetos para solução de problemas existentes: problemas estruturais de causas desconhecidas, proporcionalidade com os recursos disponíveis, potencial de término em curto período de tempo e problemas mensuráveis.

De acordo com o processo natural de gerenciamento de projetos, os principais passos para cada fase do DMAIC são sequenciais e a determinação de cada saída em cada passo é apoiada por ferramentas específicas e métodos escolhidos de acordo com os processos, os quais podemos ver na Figura 8 (TENERA; PINTO, 2014).

Figura 8 - Abordagem dos principais passos de melhoria no gerenciamento de projetos LSS



Fonte: Adaptado de TENERA; PINTO, 2014

Desde o início do Século XX, o processo de seleção de projetos *Six Sigma* é tema de pesquisas científicas, sendo que parte dos autores defendem o uso de modelos matemáticos, enquanto outros defendem as avaliações subjetivas e baseadas em métodos mais simples. Utilizando-se métodos matemáticos ou subjetivos mais simples, há a mesma ideia em torno de ter-se uma análise relativa, ou seja, considerar em primeiro momento cada caso isoladamente, e em seguida se definir o processo de seleção a ser utilizado, fazendo esta análise relativa aos dados disponíveis, tanto qualitativos quanto quantitativos, nos projetos relacionados (ROOS, 2012).

Para avaliação e classificação de projetos, vários autores têm utilizado análise de tomada de decisão multicritério, assim como outros métodos disponíveis (MANDIC et al., 2014).

2.2 TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Diariamente enfrentamos várias decisões, tomadas por meio de diversos critérios, e consequentemente estas decisões podem ser tomadas ao prover ponderações aos diferentes critérios, sendo estes definidos por experiências anteriores ou por meio de exemplos em casos similares (ARULDOSS et al., 2013).

Os métodos de tomada de decisão multicritério tem sido largamente utilizado ao longo das últimas décadas. Seu papel em diferentes áreas de aplicação tem aumentado significativamente, especialmente como novos métodos desenvolvidos e como melhorias dos já existentes (VELASQUEZ; HESTER, 2013).

É importante determinar a estrutura do problema e explicitar a avaliação multicritério. Não existem apenas questões muito complexas envolvendo multicritério; alguns destes critérios podem ter efeito sob algum problema singular, mas para obtenção da solução ótima, todas as alternativas devem ter critérios comuns, que claramente levam a decisões mais informadas e melhores (ARULDOSS et al., 2013).

Um problema acontece quando o estado em que um produto ou processo se encontra em uma situação diferente da desejada, ou fora o escopo do projeto. Já a oportunidade acontece quando as circunstâncias oferecem a chance de ultrapassar os objetivos ou metas, ou seja, tornar-se melhor que o projeto inicial (BRACARENSE et al., 2013).

Muitas pessoas e organizações são confrontados diariamente com problemas grandes e pequenos, desde a escolha do melhor candidato para uma posição de trabalho à escolha da melhor forma de realizar a reforma agrária. Esses problemas também são rotineiramente tratados na esfera política e militar: lugares onde o número de opções (ou alternativas) é comparativamente pequeno, mas onde as escolhas são incrivelmente complexas (KOSTENKO et al., 2014).

Os métodos de tomada de decisão lidam com três tipos principais de problemas: escolha, classificação e seleção (CORRENTE et al., 2016).

Segundo Dietrich (2010), vários fatores afetam a tomada de decisão, tais como: tempo disponível para a tomada de decisão, o ambiente o qual se encontra, certeza, incerteza, risco, agentes decisores e conflitos de interesses.

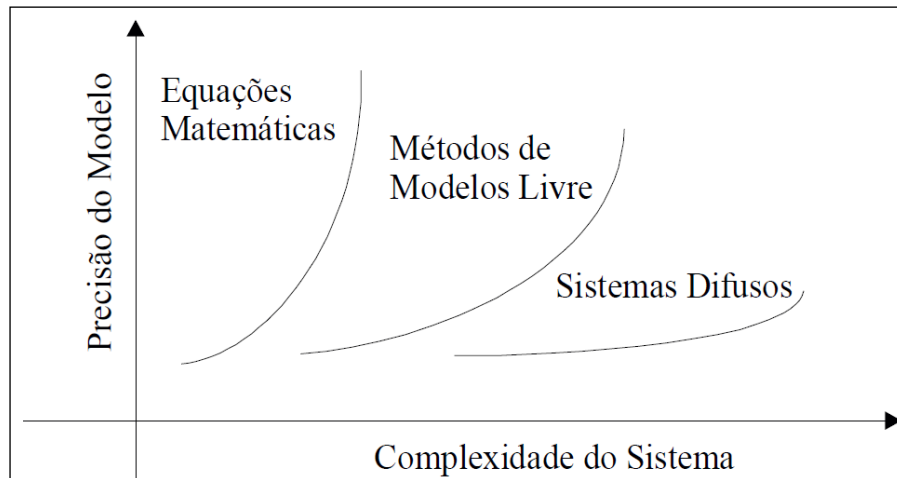
A tomada de decisão pode ser classificada, no ambiente industrial, de acordo com o nível hierárquico (estratégico, gerencial ou operacional), no tipo de informação disponibilizada (estruturada, semiestruturada ou não estruturada) e no número de decisores, individual ou em grupo (LACHTERMACHER, 2009).

Generalizando, a modelagem matemática utilizada para resolução do problema de tomada de decisão, está enraizada em um conjunto de hipóteses, que simplificam o comportamento da realidade. A diferença entre os diversos modelos existentes para tomada de decisão está exatamente condicionada à sua capacidade de predição. Com isso em mente, faz-se necessário considerar as características essenciais do modelo, que em resumo são: complexidade, credibilidade e incerteza, e em seguida retratar de forma mais precisa possível o ambiente de estudo (BRACARENSE et al, 2013).

Quanto à dificuldade da resolução dos problemas, entende-se que à medida que a complexidade de um sistema decresce, o entendimento a seu respeito aumenta, e maiores são as exigências de recursos computacionais para a elaboração de previsões. Em sistemas onde há a existência de maior complexidade, os modelos reduzem parte da incerteza, ao utilizar uma possível aprendizagem ao longo do processo (BRACARENSE et al, 2013).

Na Figura 9 são ilustradas em um Gráfico as curvas que representam a complexidade de um sistema versus a precisão do modelo, para exemplificar o tratamento matemático a ser utilizado dependendo da situação. Como é visto, sistemas difusos são mais aplicáveis em situações onde as informações são imprecisas.

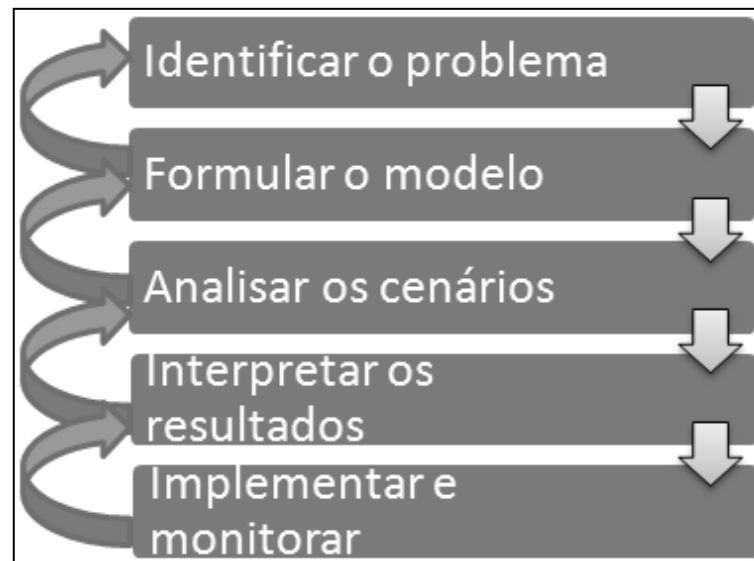
Figura 9 - Complexidade de um sistema versus precisão do modelo



Fonte: BRACARENSE et al., 2013

Independente do modelo de tomada de decisão escolhido, o processo de resolução do problema é praticamente o mesmo em todos os casos, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Processo de tomada de decisão



Fonte: Adaptado de LACHTERMACHER, 2009

As decisões multicritério podem ser definidas pela avaliação das alternativas para a finalidade de seleção ou classificação, utilizando um número de critérios qualitativos e / ou quantitativos que têm unidades de medição diferentes. Para este fim, no âmbito da teoria de decisão, ELECTRE, AHP e TOPSIS podem ser classificados como métodos primários (OZCAN et al., 2011).

2.2.1 AHP

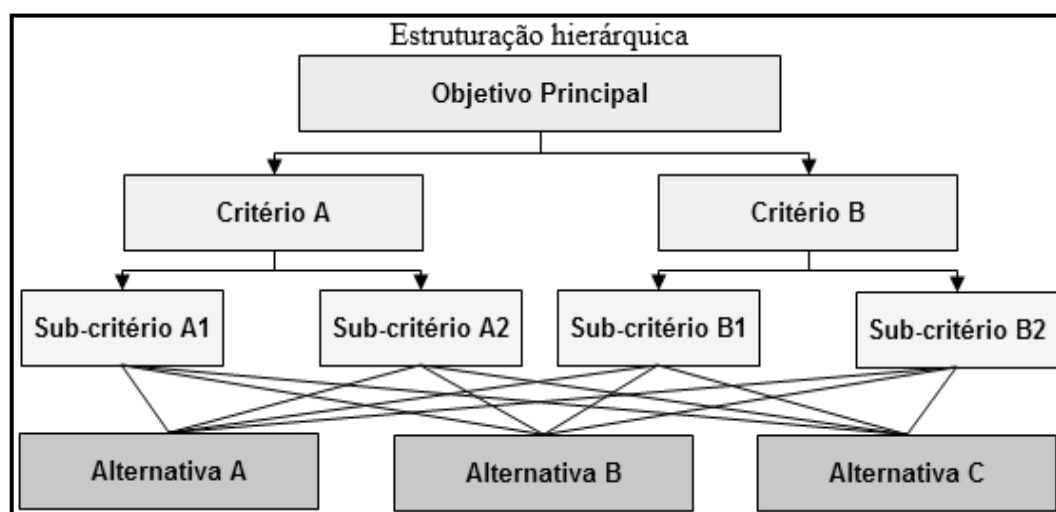
O AHP (*analytic hierarchic process*, ou processo analítico hierárquico em tradução livre) é um programa introduzido em 1980 pelo Prof. Dr. Thomas L. Saaty. Tem ampla utilização nas áreas da economia, gestão de processos, negócios e estudos políticos, quando se faz necessária a tomada de decisões e posteriores análises (KHAMKANYA, 2012).

O AHP é amplamente utilizado para práticas de métodos MCDM em vários domínios, em sistemas: social, econômico, agricultura, indústria, ecológico e biológico. É um método de tomada de decisão descritiva que calcula a importância de alternativas em razão escalar por meio de comparações pareadas de avaliação de critérios e alternativas. Envolve a decomposição de uma decisão complexa em uma hierarquia com meta (objetivo) no topo da hierarquia, critérios e subcritérios em níveis e sub níveis da hierarquia, e alternativas de decisão na parte inferior da hierarquia (WANG et al., 2009).

O AHP permite que o analista de decisão compare e transforme os julgamentos qualitativos em valores quantitativos, utilizando estes valores quantitativos em análises futuras na investigação, quando é criado um ranking de critérios para a seleção (LEE; ROSS, 2012).

O método AHP subdivide o problema em vários níveis hierárquicos com o objetivo principal em seu topo, conforme Figura 11.

Figura 11 - Hierarquia do processo AHP



Fonte: Adaptado de SAATY, 2008

O método, então, conforme Saaty (2008) é subdividido nas etapas a seguir:

- Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento solicitado.
- Estruturar a hierarquia de decisões a partir do topo com o objetivo da decisão, então os objetivos de uma perspectiva ampla, por meio de níveis intermediários (critérios os quais os elementos subsequentes dependem) ao nível inferior (o qual geralmente é um grupo de alternativas).
- Construir um conjunto de matrizes para comparação de pares. Cada elemento no nível superior é usado para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo em relação ao mesmo.

Usar as prioridades obtidas nas comparações para pesar as prioridades no nível imediatamente abaixo. Fazer isso para cada elemento, e então, para cada elemento no nível inferior, adicionar os seus valores ponderados e obter sua prioridade global (ou geral). Continuar este processo de pesagem e adição até que são obtidas as prioridades finais das alternativas no nível mais baixo.

O AHP é um tipo de método de soma ponderada. Após obtidos os pesos, cada desempenho em um dado nível é então multiplicado com seu peso e então os desempenhos ponderados são somados para obter a pontuação em um nível mais elevado. O procedimento é repetido para cima para cada hierarquia, até que o topo da hierarquia seja alcançado. Os pesos globais com respeito à meta para cada alternativa de decisão são então obtidos. A alternativa com a maior pontuação é a melhor (WANG et al., 2009).

2.2.2 ANP

O ANP (*analytic network process*, ou processo analítico de rede) é um modelo de tomada de decisão desenvolvido pelo Prof. Dr. Thomas L. Saaty em 1996 (ORDOUBADI, 2012; TOSARKANI, AMIN, 2018), sendo uma extensão do AHP. A diferença entre ambos é que o ANP considera as relações interdependentes e *feedbacks* entre os elementos do sistema. No ANP, são estruturados o modelo, atributos e alternativas são estruturados como hierarquias semelhantes, semelhantes ao AHP e foi desenvolvido para sintetizar com a teoria dos conjuntos *fuzzy* para lidar com a incerteza dos peritos (decisores), gerenciando as inter-relações entre os principais fatores para tomada de decisão (CHIANG, CHEN, HO, 2016; TOSARKANI, AMIN, 2018).

Seguem-se as mesmas etapas aplicadas no AHP, e então, a escolha é realizada por meio do *ranking* formado entre as comparações realizadas na última etapa, sendo que a decisão escolhida é a melhor colocada no *ranking* entre todas (ZAIM et al., 2012).

Cada fator de decisão é considerado hierarquia independente. Para lidar com as limitações do AHP, a ANP substitui hierarquias por redes. Além disso, a ANP incorpora feedback e relações interdependentes entre atributos e alternativas de decisão. Mas as relações entre os níveis não são facilmente representadas como direta ou indiretamente, mais ou menos, dominadas ou dominadas (CHIANG; CHEN; HO, 2016).

A técnica ANP é usada para descobrir os pesos de todos os componentes, que também se baseiam em comparações por pares como é no AHP. Para comparações par-a-par, a escala 1-9 de Saaty é usada. O modelo ANP define todos os componentes e relações que são então determinados como interações bidirecionais, utilizando uma estrutura de rede e encontra a relação dos subcritérios com seu cluster pai. Também considera a relação entre cada cluster (ZAIM et al., 2014). Este método é útil para obter resultados mais precisos e eficazes em problemas de tomada de decisão tão complexos e cruciais, devido ao envolvimento de relações entre subcritérios em cada cluster e interações entre diferentes critérios.

Os processos de análise do ANP podem ser resumidos da seguinte forma (HASAN et al., 2012; SAATY, 1996):

Etapa 1. Comparação em pares entre fatores e comparação mútua de fatores secundários dentro do grupo de fatores. Forma-se uma matriz de comparação pareada para cada especialista e se calcula as prioridades de fatores. A comparação de fatores secundários é dividida em comparação em pares entre fatores no mesmo grupo, e a comparação entre fatores em diferentes grupos e a conformidade do resultado devem ser comparadas.

Etapa 2. O teste de consistência da ANP é projetado para garantir a consistência dos julgamentos pelos tomadores de decisão durante o processo de tomada de decisão. A relação de consistência é definida no modelo ANP para medir a confiabilidade do questionário de Saaty. Nesta pesquisa, para julgar a conformidade ideal, é calculada a inconsistência por *software* e o valor do Índice de Inconsistência deve ser inferior a 0,1 (SAATY, 1996).

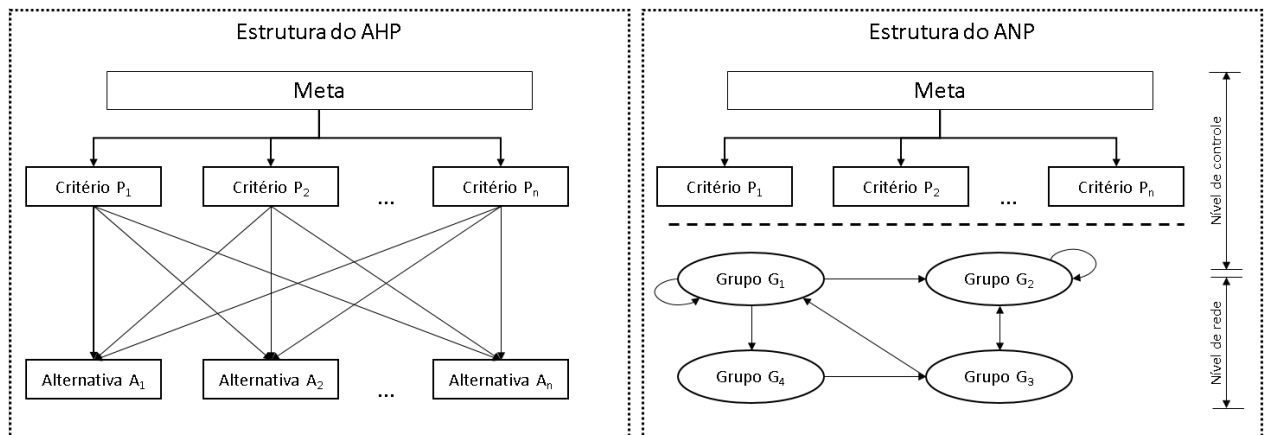
Etapa 3. Cálculo da super-matriz, que é composta por muitas sub-matrizes, e cada sub-matriz inclui a relação interativa dos fatores intrínsecos de cada grupo, que será comparada com a interação entre fatores em outros grupos em pares. Em relação ao valor de cada sub-matriz, o vetor de característica, conforme determinado por meio da comparação por pares, é tomado

como o valor de peso dessa sub-matriz e, finalmente, a super-matriz é formada (CHIANG; CHEN; HO, 2016).

Etapa 4: Classificação final das alternativas. Após muitas vezes de cálculo com base na super-matriz, o valor de peso obtido representa a prioridade sugerida de cada conjunto (HASAN, SARKIS, SHANKAR, 2012; CHIANG; CHEN; HO, 2016).

A Figura 12 ilustra a diferença na estrutura do AHP e do ANP.

Figura 12 - Diferenças entre a estrutura do AHP e do ANP



Fonte: Adaptado de WAN; XU; DONG, 2017

2.2.3 ELECTRE

O ELECTRE, cujo nome é acrônimo da expressão em francês *Elimination Et Choix Traduisant la Réalité* (em tradução livre: Método de eliminação e escolha expressando a realidade) é um método de tomada de decisão multicritério e seus processos permitem que tomadores de decisão (decisores) selecionem a melhor escolha com o máximo de vantagem e o menos conflito na função de vários critérios. O método ELECTRE é utilizado para escolher a melhor ação de um conjunto de ações dadas e mais tarde chamado de ELECTRE I. Diferentes versões do ELECTRE foram desenvolvidas incluindo ELECTRE I, II, III, IV, TRI e IS. Todos os métodos são baseados no mesmo conceito fundamental mas diferem tanto operacionalmente como de acordo com o tipo de problema de decisão (ARULDOSS et al., 2013). É uma ferramenta de tomada de decisão criada na Europa na metade da década de 1960, desenvolvida pelo Prof. Dr. Bernard Roy. Tem várias características únicas não encontradas nos outros métodos de tomada de decisão, tais como: *outranking* (análise de superioridade) limites de indiferença e de preferência (LING, 2012).

De maneira mais direta, ELECTRE I é destinado para problemas de seleção, ELECTRE TRI para problemas de atribuição e ELECTRE II, III e IV para problemas de classificação. A principal ideia é a utilização adequada de “relações de superioridade”. O ELECTRE cria a possibilidade para modelar um processo de decisão utilizando índices de coordenação. Estes índices estão em matrizes de concordância e de discordância. O decisor utiliza os índices de concordância e discordância para analisar as relações de superioridade entre diferentes alternativas e escolhe a melhor, utilizando os dados nítidos (ARULDOSS et al., 2013).

De acordo com Ling (2012), o ELECTRE possui duas etapas principais:

- A construção de uma ou várias relações de superioridade, cujo objetivo é comparar de forma abrangente cada par de ações;
- Procedimento de exploração, o qual elabora as recomendações obtidas na primeira fase, obtidas por escolha, classificação ou ordenação.

Normalmente os métodos ELECTRE de tomada de decisão são usados para descartar algumas alternativas do problema, principalmente as inaceitáveis, logo de início (CLIVILLÈ et al., 2013). Logo após este descarte, geralmente utiliza-se outra ferramenta de tomada de decisão para a seleção do melhor. Isto se torna eficaz, pois ao utilizar o ELECTRE antes de outra ferramenta, reduz o tempo e a quantidade de interações que a etapa seguinte (utilizando a outra ferramenta de tomada de decisão) precisará fazer para chegar ao resultado ótimo da análise (CLIVILLÈ et al., 2013).

Observações sobre os métodos ELECTRE (GOVINDAN; JEPSEN, 2016):

- 1- No geral, ELECTRE III é o mais popular dos métodos ELECTRE, mas na verdade é apenas o mais popular em cinco das 13 categorias principais. Quase metade de todas as aplicações do ELECTRE III são nas áreas de gestão de energia e recursos naturais e gestão ambiental. Este resultado indica que o ELECTRE III pode ser negligenciado em algumas áreas. Embora o ELECTRE III possa ser considerado relativamente complicado, possui software, o que pode facilitar o uso para os pesquisadores.
- 2- O ELECTRE I possui mais de 40 anos de idade, entretanto continua a ser um método popular em várias áreas de aplicação. Isto provavelmente pelo fato de que é menos complexo do que os outros métodos, o que faz com que seja mais fácil de combinar com outros métodos MCDM ou para integrar a um método maior.

- 3- Em relação aos pontos acima, a avaliação identificou várias aplicações de versões do ELECTRE modificados. O ELECTRE I e o ELECTRE III, em especial, foram modificados de várias maneiras. As modificações no ELECTRE III envolvem principalmente a substituição de toda a fase de agregação ou exploração. No caso do ELECTRE I, as modificações são mais orientadas contra modificações menores ou maiores no interior do algoritmo original, tais como a utilização de dados de intervalo ou números *fuzzy*.
- 4- O ELECTRE IV teve poucas aplicações em geral. Ele claramente tem menos flexibilidade do que os outros métodos, mas deve-se pensar que o fato de que nenhum peso dos critérios tem que ser definidos o tornaria mais adequado do que outros métodos em alguns casos. Por exemplo, pode ser utilizado como um módulo de decisão dentro de um algoritmo maior.
- 5- O ELECTRE IS também não tem sido muito utilizado, apesar do fato de que é mais flexível do que ELECTRE I e que possui um software oficial. Semelhante a ELECTRE I, ele pode selecionar um subconjunto de melhores alternativas, o que significa que ele pode ser usado para reduzir um grande conjunto de alternativas, possivelmente antes de aplicar um outro método.
- 6- O ELECTRE TRI foi aplicado com sucesso em uma série de problemas relacionados com o risco na gestão financeira e gestão do uso da terra, bem como para as avaliações de desempenho em diversas áreas, tais como gestão de negócios e gestão de energia. Esse uso indica que ele pode ser particularmente adequado para problemas de risco e avaliação de desempenho.
- 7- Os dois últimos métodos, ELECTRE TRI-C e ELECTRE TRI-nC foram vistos em poucas aplicações.

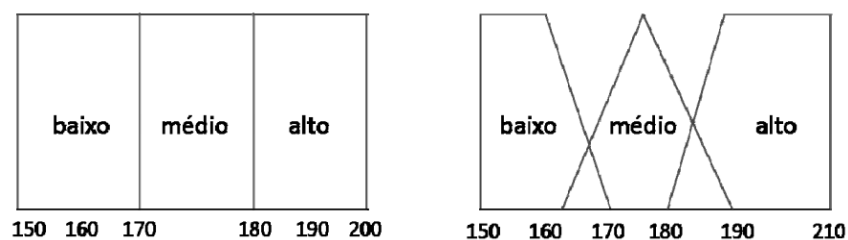
2.2.4 Fuzzy

A lógica *fuzzy* foi introduzida no ano de 1965 pelo Prof. Dr. Loffi A. Zadeh (LI et al. 2012), que propôs em suas publicações os conceitos básicos dos métodos nebulosos de tomada de decisão.

Estes métodos, em matemática aplicada, são amplamente utilizados para a solução de problemas que envolvem um sistema de equações lineares, sendo campo de pesquisa para: pesquisa operacional, física, estatística, engenharia e ciências sociais (KUMAR et al., 2012).

A lógica *fuzzy* tem a capacidade de se aproximar dos problemas reais de decisão, pois as respostas são mais flexíveis e não são extremas (MARRO et al., 2009), conseguindo criar um meio termo inclusive, possibilitando assim, medir-se o grau de aproximação da solução exata do resultado obtido.

Figura 13- Diferença entre a Lógica Clássica e a *Fuzzy*



Fonte: Marro et al., 2009

Como exemplificado na Figura 13, pode-se notar, no conjunto *fuzzy*, a zona de intersecção entre baixo e médio e entre médio e alto; já a lógica clássica possui as extensões definidas e não há intersecção entre estas. Esta é uma ferramenta que possui boa adaptabilidade a vários problemas de tomada de decisão, e por isso foi fortemente utilizada na década de 80 no Japão e hoje ainda é utilizada em larga escala mundial (MARRO et al., 2009).

De acordo com Cabanillas et al. (2012), a lógica *fuzzy* é dividida em quatro grandes etapas, bem como possui as vantagens e desvantagens mostradas a seguir:

- *Fuzzyficação*: obter o grau de pertinência com que cada entrada pertence a cada conjunto *fuzzy*. Esta etapa classificatória é feita utilizando-se softwares computacionais, que buscam nas bases de dados estes graus automaticamente.
- Avaliação das regras *fuzzy*: após a obtenção das entradas *fuzzyficadas*, aplica-se estas nos antecedentes e obtêm-se como produto final o valor para cada regra. Utilizam-se operadores 'ou' e 'e', dependendo de cada caso.
- Agregação das regras *fuzzy*: agregadas todas as funções membro dos consequentes de cada regra em um único conjunto *fuzzy*.
- *Defuzzyficação*: para obter uma saída numérica é necessário defuzzyficar a saída obtida na etapa anterior. Um dos métodos mais utilizados é o da centróide, que obtém um ponto "médio" do conjunto encontrado na saída.

2.2.5 Árvore de decisão

Uma árvore de decisão é uma estrutura tipo fluxograma, sendo uma ferramenta de tomada de decisão bem prática e usualmente utilizada em pesquisa operacional, mais especificamente na análise de decisão, para ajudar a identificar uma estratégia de maior probabilidade de atingir uma meta, e geralmente deve ser acompanhada em paralelo por um modelo de probabilidade, como um melhor modelo de escolha ou modelo algorítmico de seleção. Outro uso de árvores de decisão é como um meio descritivo para cálculo de probabilidades condicionais (SAMPAIO et al., 2013).

A árvore de decisão é formada por nós, representados geralmente por círculos e quadrados. Cada "nó quadrado" representa decisão e cada "nó circular" representa os eventos, refletindo incerteza (ZHANG et al., 2015). Estes nós são conectados por ramos, representados por linhas. Os ramos representam as alternativas para uma decisão particular, e também surgem dos eventos incertos, correspondendo a possíveis alternativas que podem ocorrer, independentes da administração da empresa e. com base nestas informações, pode-se fazer uma representação gráfica, da esquerda à direita, na qual a avaliação dos cenários é realizada da direita à esquerda, somando-se os valores esperados em cada chance, e posteriormente multiplicando-os pela probabilidade associada a ela (SAMPAIO et al., 2013; ZHANG et al., 2015).

2.2.6 DEA

O DEA, cuja sigla é oriunda de *Data Envelopment Analysis* (em tradução livre: análise envoltória de dados) é um método de tomada de decisão não-paramétrico linear, para comparação de eficiências e produtividade de diferentes unidades de decisão, chamadas de DMUs, que se baseia em múltiplas entradas e saídas. Este método existe desde o final da década de 1970, revisado na década de 1980 por Banker (LAU et al., 2012).

O DEA usa a razão de somas ponderadas de entradas e saídas de cada unidade de decisão (DMU) para produzir uma única medida de produtividade, formando uma fronteira limite de eficiência que representa todas as possíveis combinações de entradas e saídas com a máxima eficiência (FANG et al., 2013).

Outra grande aplicação da DEA é como ferramenta de *benchmarking* (LAU et al., 2012), pois consegue manipular múltiplas variáveis de entradas e saídas, quando em outras ferramentas apenas uma variável de saída geralmente é permitida. Outra vantagem é que as variáveis de entrada e saída podem ter unidades diferentes, tornando a ferramenta bastante flexível. Por fim, por ter natureza não-paramétrica, a ferramenta DEA não requer uma suposição de forma funcional entre entradas e saídas, deixando a ferramenta bem simples (PEDERSEN; OLSEN, 2013).

2.2.7 MAUT

A teoria da utilidade multiatributo, ou MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*) foi desenvolvida em 1944 por Jhon Von Neuman e Oskar Morgenstern, sendo uma derivação da Teoria da Utilidade de Bernoulli, criada no final do Século XVIII. Porém, foi introduzida no mercado como conceito de medir a utilidade de cada alternativa inserida num conjunto de soluções alternativas candidatas à resolução do problema por Keeney e Raifa em 1999, o qual tal modelo é constituído de múltiplos atributos e, com a formulação de uma função matemática, constrói-se a função utilidade, obtendo por fim um modelo matemático que descreve preferências (LOPES et al., 2012).

Desta maneira, o objetivo do MAUT é encontrar a função utilidade multicritério que represente as preferências do decisor, de acordo com seus parâmetros, onde uma função utilidade é definida em um conjunto de consequências, sendo que o MAUT possui duas análises principais para a tomada de decisão: a função utilidade aditiva e a função utilidade multiplicativa (LIN, 2013).

A função utilidade na forma aditiva, bem mais simples e amplamente utilizada, é a agregação por adição por meio de uma média ponderada das utilidades segundo cada atributo (LOPES et al., 2012). Posteriormente é calculada a utilidade multiatributo em cada critério, e, em seguida, somam-se os valores resultantes da função utilidade, ponderando os critérios com relação aos outros existentes.

É necessário respeitar a condição de independência para se utilizar a função utilidade aditiva, por meio de uma relação de troca (*trade-off*) entre dois critérios, e todos estes critérios devem ser independentes. A função utilidade multiplicativa, por sua vez, exige que cada

subconjunto de critérios satisfaça a condição de independência com os demais critérios para a utilização dela (LOPES et al., 2012; LIN, 2013).

2.2.8 TOPSIS

O TOPSIS, acrônimo de *Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*, (em português literal: Técnica para ordem de preferência por similaridade para uma solução ideal) é um método multicritério de apoio à decisão utilizado para avaliar desempenho das alternativas por meio de similaridade com a solução ideal. Essas alternativas são avaliadas em função de critérios ou atributos determinados e de pesos de importância para cada um deles. A solução ideal positiva é aquela que maximiza os critérios ideais e minimiza os critérios dispensáveis (indesejáveis). Já a solução ideal negativa é o contrário. Ou seja, a solução ideal positiva é composta por todos os melhores valores atingíveis dos critérios de benefício e, analogamente, a solução ideal negativa consiste em todos os piores valores atingíveis dos critérios indesejáveis (KROHLING; SOUZA, 2011).

Ele foi desenvolvido devido à imprecisão em avaliar a importância relativa dos atributos e classificação de alternativas com relação a atributos de desempenho. O TOPSIS é utilizado como um método de ponderação (faz o uso de pesos), por isso é considerado um método multicritério de apoio à decisão. Ele é baseado no conceito que a alternativa ideal tem o melhor nível para todos os critérios, enquanto que o ideal negativo é aquele que possui todos os piores valores nos critérios. O princípio é simples: a melhor alternativa selecionada deve ter a menor distância da solução positiva ideal no senso geométrico, enquanto tenha a maior distância da solução negativa. O método assume que cada critério tenha uma utilidade monotonamente crescente ou decrescente. Isto torna fácil localizar as soluções ideal e ideal negativa (WANG et al., 2009).

Os critérios classificados como benefícios são aqueles critérios para os quais valores maiores são desejados, tais como: receita esperada de um projeto, facilidade de implementação de um projeto, mão-de-obra sem necessidade de qualificação externa etc. Por outro lado, os custos são aqueles critérios para os quais valores menores são desejados, tais como: custos operacionais, danos estimados ao meio ambiente, *turnover* (rotatividade dos profissionais), dentre outros (DUARTE, 2013).

O TOPSIS representa uma das melhores técnicas de tomadas de decisão, a qual identifica soluções para um finito grupo de alternativas (KUMAR; SINGH, 2012).

Uma das vantagens principais do TOPSIS é a facilidade de computar os dados e a facilidade de entendimento, porque o método é diretamente dado a um valor definido por *experts* para calcular os resultados finais, ou seja, desenvolvido para capturar conhecimentos e opiniões de especialistas (UYSAL et al., 2012).

Entretanto, como o TOPSIS é convencional, não representa o estilo de pensamento humano, pois as características linguísticas da lógica *fuzzy* são consideradas como representações naturais de preferências e/ou julgamentos. O restante da ferramenta é baseado na mesma lógica-mãe do sistema, a lógica *fuzzy* (UYSAL et al., 2012).

2.2.9 Programação por metas

A programação por metas, ou *Goal Programming* (GP) foi introduzida por Charnes e Cooper no início da década de 1960 para resolver modelos de programas matemáticos multiobjetivos (AYOP, 2012).

Situações de múltiplos objetivos têm sido solucionada com sucesso e grande precisão com os Modelos de Programação por Metas, situações em que podem existir níveis imprecisos para as metas associadas aos objetivos (SILVA et al., 2012), dificultando a tarefa dos analistas.

Desenvolveu-se, então, os modelos baseados na lógica *fuzzy* de Programação por Metas (*Fuzzy Goal Programming* - FGP) que utilizam funções de pertinência triangulares e trapezoidais para tratar as incertezas associadas aos valores das constantes do lado direito (*Right-hand Side coefficients* - RHS) nas restrições dos modelos.

Em algumas situações, podem existir vários valores interessantes para as metas associadas aos objetivos e não apenas um, ou seja, os objetivos podem ser alcançados ao se atingir diferentes níveis específicos desejados (SILVA et al., 2012; SILVA et al., 2011; CHANG, 2011).

O princípio básico da Programação por Metas é apresentar uma série de soluções variadas do problema para que o decisor encontre e escolha, por fim, a que melhor lhe atender. Isso possibilita a resolução dos problemas com uma meta principal e múltiplas submetas, ou mesmo

com múltiplas metas principais. A ideia da GP é estabelecer uma meta ao nível de meta de realização de cada critério (DEVI et al., 2013).

2.2.10 PROMETHEE

Usualmente conhecido como PROMETHEE (acrônimo de *preference ranking organization method for enrichment evaluation*, em tradução livre: método de organização e ordenação por preferência para avaliação de enriquecimento) é um método baseado em Matemática e Sociologia. Foi desenvolvido no início da década de 1980, pelo professor Jean-Pierre Brans. Foi extensivamente estudado e refinado desde então, com ampla aplicação nas áreas de engenharia, em destaque: projetos de energia geotérmica, exploração de energia, planejamento e aplicações de energia em geral (FIGUEIRA et al., 2005; VELASQUEZ; HESTER, 2013).

A família PROMETHEE é usada ao redor do mundo em uma ampla gama de cenários de tomada de decisão, na área de negócios, instituições governamentais, transporte, cuidados com a saúde e educação (BEHZADIAN et al., 2010).

Este método usa o princípio da seleção por superação (*outranking*) para classificar as alternativas, combinado facilidade de utilização e diminuição da complexidade. É bem adaptado aos problemas onde um número finito de alternativas será ranqueado considerando vários, por vezes conflituosos, critérios (WANG et al., 2009).

Assim como o método ELECTRE, ele também executa uma comparação emparelhada de alternativas com o objetivo de ranqueá-los com relação ao número de critérios. Entretanto, o ELECTRE apenas se atenta a preferência e ignora o nível de diferença entre as alternativas quando se determina a ordenação no ranking. O PROMETHEE introduz as funções de preferência para medir a diferença entre duas alternativas para quaisquer critérios (VELASQUEZ; HESTER, 2013; WANG et al., 2009).

Ao invés de apontar uma decisão "certa", o método dá suporte aos tomadores de decisão em encontrar a alternativa que melhor se adapte aos seus objetivos, e também na compreensão do problema (AMARAL; COSTA, 2014).

Ele também fornece uma estruturação abrangente e racional do problema de tomada de decisão, realizando a identificação e quantificação dos seus conflitos e sinergias, grupos de

ações, e destaca as principais alternativas e a estrutura do raciocínio utilizado como base (BEHZADIAN et al., 2010).

Os métodos PROMETHEE podem ser facilmente implementados em uma linguagem de computador e prova disso é o crescente número de utilizações deste método, sendo também apresentado e muitas publicações científicas (SILVA et al., 2013).

Para problemas de seleção de portfólios, com ênfase nos métodos de classificação, o PROMETHEE foi indicado com o método mais aplicado para esta problemática (SILVA et al., 2013).

A família PROMETHEE é composta basicamente de dez métodos: PROMETHEE I, II, III, IV, V, VI, TRI, Cluster, *Fuzzy* e GAIA (SILVA et al., 2013; AMARAL; COSTA, 2014). A aplicação de cada método depende do problema (AMARAL; COSTA, 2014).

Em geral, os métodos da família PROMETHEE se desenvolvem em sete etapas (AMARAL; COSTA, 2014):

- Normalizar a matriz de decisão;
- Avaliar as diferenças de cada alternativa em relação às outras, o que significa que as diferenças nos valores dos critérios entre as alternativas diferentes devem ser determinadas par a par;
- Escolher e calcular a função de preferência. O PROMETHEE induz a função de preferência para descrever ao decisor a diferença de preferência entre os pares de alternativas em cada critério;
- Determinar a função de preferência agregada, incorporando os pesos;
- Cada alternativa deve estar relacionada a n-1 alternativas, o que resulta em um fluxo de classificação positivo ou negativo, calculando em seguida as entradas e saídas deste fluxo de classificação;
- O PROMETHEE fornece uma classificação prévia determinada pela classificação do fluxo de decisão líquido;
- Determinar a classificação de alternativas, levando em consideração o fluxo de decisão líquido.

O PROMETHEE pode vir acompanhado de uma ferramenta de análise gráfica chamada GAIA, que significa “Análise Gráfica para Ajuda Interativa” (acrônimo do inglês *Graphical Analysis for Interactive Aid*). Enquanto o PROMETHEE fornece rankings das alternativas,

GAIA cria uma representação gráfica do problema de decisão, criando a possibilidade de identificar potenciais conflitos entre os decisores e, dessa forma, possibilitando uma análise de sensibilidade baseada na ponderação dos tomadores de decisão, com sugestões e comentários adicionais que possam resolver conflitos (SILVA et al., 2013; AMARAL; COSTA, 2014; MACHARIS et al., 1998).

2.2.11 MACBETH

MACBETH é uma abordagem multicritério de apoio à decisão, cujo desenvolvimento foi data do início da década de 1990 pelo Prof. Dr. Bana e Costa e pelo Prof. Dr. Vasnick, com a equipe ampliada nos anos seguintes com o ingresso do Prof. Dr. De Corte (BANA E COSTA et al., 2003). MACBETH é acrônimo de “*Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique*” (em português: medir a atratividade por uma técnica de avaliação baseada em categorias).

O método possui a diferença, em relação aos outros métodos de tomada de decisão, de basear a ponderação dos critérios e avaliação das opções em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade (BANA E COSTA et al., 2013). A Figura 14 mostra as fases do processo MACBETH.

Figura 14 - Fases do processo MACBETH de apoio multicritério à decisão



Fonte: BANA E COSTA et al., 2013

O MACBETH é uma ferramenta Humanística, Interativa e Construtiva (BRAZ, 2011):

- Humanística, pois se deve utilizá-la para apoiar os decisores a ponderar, comunicar e discutir os seus sistemas de valores e preferências;

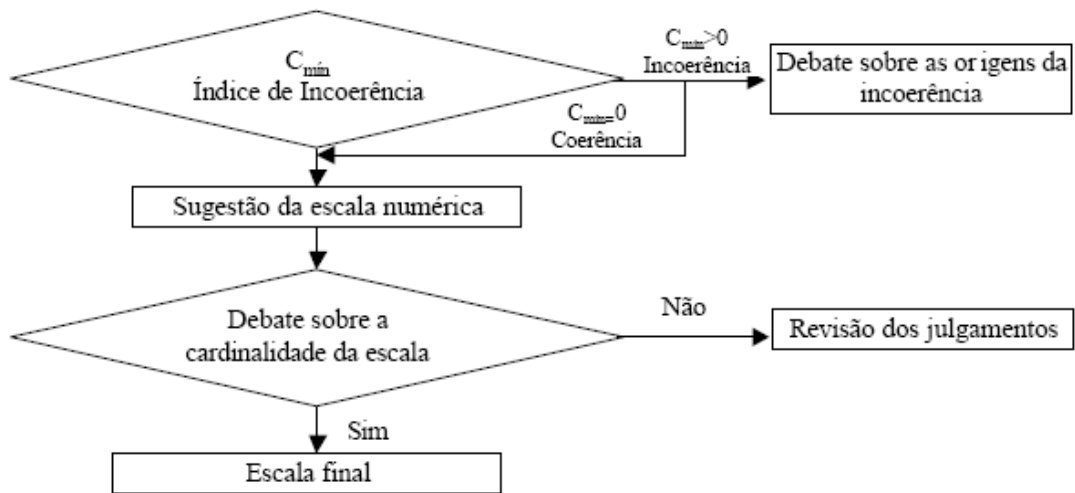
- Interativa, pois o seu processo de reflexão e aprendizagem se pode estender sobre uma facilitação social, sustentada por protocolos simples de pergunta-resposta;
- Construtiva, porque assenta na ideia de que nem os decisores nem cada membro de um grupo de decisão têm convicções fortes sobre o tipo de decisão a ser tomada, mas é possível fornecer-lhes ajuda para formar essas convicções e construir preferências robustas com relação às diferentes opções para resolver o problema.

Realizando comparações par a par da atratividade das alternativas, são atribuídos os pesos aos critérios: dadas duas alternativas, o decisor deve dizer qual a mais atrativa, que receberá a maior nota (GOMES; ALENCAR, 2005). O grau desta atratividade em uma escala semântica que tem correspondência com uma escala ordinal, que facilita a comparação de diferenças de desempenho, é feita entre dois níveis de desempenho de cada vez, com o MACBETH introduzindo sete categorias qualitativas de diferença de atratividade: “nula”; “muito fraca”; “fraca”; “moderada”; “forte”; “muito forte”; “extrema” (BANA E COSTA et al., 2010).

Toda vez que for requerido um novo juízo qualitativo ao decisor, a consistência dos outros juízos tomados até ao momento são verificados e são dadas sugestões para resolver as possíveis inconsistências. Após esta ação, o MACBETH deriva as pontuações a serem atribuídas a cada desempenho por meio dos juízes consistentes fornecidos pelo decisor (BANA E COSTA et al., 2012).

Como se pode analisar, a maior vantagem do MACBETH é a interatividade, pois o método mede o grau de preferência de um “decisor” sobre um conjunto de alternativas e, dessa forma, permite que seja verificada a inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a revisão (VILAS-BOAS, 2005). A Figura 15 mostra o processo interativo do MACBETH.

Figura 15 - Fluxograma do processo iterativo do MACBETH



Fonte: VILAS-BOAS, 2005

2.2.12 Comparação entre métodos de tomada de decisão

Foi feita uma avaliação geral dos métodos MCDM, onde foram elencadas as vantagens e desvantagens de cada um, pode ser observado no Quadro 4.

Quadro 4 - Métodos de tomada de decisão multicritério: vantagens e desvantagens

Nº	MCDM	Vantagens	Desvantagens	Autor
1	AHP	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flexível, intuitivo e verifica inconsistências; 2. Desde que o problema seja construído em uma estrutura hierárquica, a importância de cada elemento se torna clara; 3. Sem tendência na tomada de decisão; 4. Fácil de usar; 5. Dimensionável; 6. Estrutura de hierarquia pode facilmente se ajustar para caber em problema de diversos tamanhos; 7. Sem dados intensivos; 8. Modela fatores intangíveis e variáveis qualitativas; 9. Realiza a verificação da consistência dos julgamentos; 10. Capaz de modelar critérios e subcritérios em uma estrutura hierárquica. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Irregularidades na classificação; 2. Agregação aditiva é utilizada. Então, informações importantes podem ser perdidas; 3. Maior número de comparações pareadas são necessárias; 4. Problemas devido à interdependência entre os critérios e alternativas; 5. Pode levar a inconsistências entre o julgamento e os critérios de classificação; 6. Classificação reversa. 7. Grande quantidade de comparações requeridas; 8. Apresenta grandes variações nos valores de ranking durante a atualização do modelo (inclusão ou exclusão de fornecedores ou critérios de decisão); 9. Limitado ao uso de até 9 fornecedores e 9 critérios; 10. Violação da preservação da ordem de preferências, com o método de derivação do vetor prioritário. 	ARULDOSS et al., 2013; VELASQUEZ; HESTER, 2013; HUDYMÁCOVÁ et al., 2010; BANA E COSTA; VASNICK, 2008.
2	ANP	<ol style="list-style-type: none"> 1. Independência entre os elementos não é requerida; 2. Predição é precisa porque prioridades são melhoradas por <i>feedback</i>; 3. Capaz de modelar inter-relações de dependências entre critérios de seleção de fornecedores. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo de tempo; 2. Incerteza - não suportado; 3. Difícil de convencer a tomada de decisão; 4. Grande quantidade de comparações requeridas; 5. Quantidade limitada de alternativas e critérios. 	ARULDOSS et al., 2013; GENCER; GÜRPINAR, 2007; CHIANG et al., 2016
3	ELECTRE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Classificação de superioridade é utilizada; 2. Toma incerteza e imprecisão em conta. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo de tempo; 2. Seu processo e o resultado pode ser difícil de explicar em termos leigos; 3. Classificação superior faz com que os pontos fortes e fracos das alternativas para não sejam identificados diretamente. 	ARULDOSS et al., 2013; VELASQUEZ; HESTER, 2013.
4	Lógica <i>fuzzy</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Capacidade de lidar com as incertezas. 2. Raciocínio aproximado com o real. 3. Baixo custo para problemas complexos. 4. Suma importância no conceito de Inteligência Artificial, pois é um método bastante realista, aproximando-se ao pensamento humano na decisão. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabilidade. Sistemas fuzzy são estáticos, ou seja, não possuem capacidade de adaptação a contextos dinâmicos. 2. Falta de capacidade de aprendizagem, obviamente pelo fato de serem estáticos, há dificuldade de incrementar um sistema já diagramado. 3. Dificuldade na definição de funções de pertinência e regras. 4. Testes extensivos para verificar e validar um sistema fuzzy. 	LI et al., 2012.

5	Árvore de decisão	<ol style="list-style-type: none"> 1. Simples de entender e interpretar, pois aparece sob a forma de representação gráfica; 2. Resulta em um valor final, mesmo que com poucos dados. 3. Cenários diversos possíveis podem ser adicionados e valores piores, melhores ou esperados podem ser determinados para diferentes cenários; 4. Pode ser combinado com outras técnicas de decisão; 5. Possibilidade de desenhar alterações no planejamento estratégico e operacional da empresa durante um período de acordo com as decisões tomadas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para os dados, o ganho de informação em árvores de decisão é tendencioso em favor dos atributos com mais níveis; 2. Os cálculos podem ser muito complexos, especialmente se diversos valores são incertos ou se muitos resultados estão ligados. 	SAMPAIO, 2013.
6	DEA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Múltiplas entradas e saídas podem ser manuseadas; 2. Relação entre entradas e saídas não são necessárias; 3. Comparações são diretamente contra pares; 4. Entradas e saídas podem ser com unidades bem distintas; 5. Capaz de lidar com múltiplas entradas e saídas; 6. Eficiência pode ser analisada e quantificada; 7. É flexível, podendo ser aplicado a várias circunstâncias e níveis de grandeza da amostra 8. DEA pode lidar com múltiplas entradas e vários modelos de saída. 9. Não requer uma suposição de uma forma funcional que relaciona entradas a saídas. 10. DMUs são diretamente comparados com um peer ou combinação de pares. 11. Entradas e saídas podem ter unidades muito diferentes. Por exemplo, X1 poderia estar em unidades de vidas salvas e X2 poderia ser em unidades de dólares sem requerer uma troca a priori entre os dois. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erros de medidas podem causar problemas significativos; 2. Eficiência absoluta não pode ser medida; 3. Testes estatísticos não são aplicáveis; 4. Grandes problemas podem ser exigentes; 5. Não lida com dados imprecisos; 6. Assume que toda a entrada e saída são exatamente conhecidos; 7. É baseado na capacidade do modelo em converter inputs em outputs 8. Uma vez que o DEA é uma técnica de ponta extrema, o ruído (mesmo ruído simétrico com média zero), como o erro de medição, pode causar problemas significativos. 9. A DEA é boa para estimar a eficiência "relativa" de uma DMU, mas converge muito lentamente para uma eficiência "absoluta". Em outras palavras, ele pode dizer o quão bem você está fazendo em comparação com seus pares, mas não em comparação com um "máximo teórico." 10. Como a DEA é uma técnica não-paramétrica, os testes de hipóteses estatísticas são difíceis e são o foco da pesquisa em andamento. 11. Uma vez que uma formulação padrão de DEA cria um programa linear separado para cada DMU, grandes problemas podem ser computacionalmente intensivos. 	ARULDOSS et al., 2013; VELASQUEZ; HESTER, 2013; SAMOILENKO; OSEI-BRYSON, 2013; SUEYOSHI; GOTO, 2012.
7	MAUT	<ol style="list-style-type: none"> 1. Leva em conta a incerteza; 2. Pode incorporar preferências; 3. O decisor tem perfeita noção se os seus julgamentos estão a ser consistentes ao longo do processo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Precisa de muitas entradas; 2. As preferências necessitam ser precisas; 3. A transformação dos critérios para escalas numéricas, por vezes é complicada e complexa 	VELASQUEZ; HESTER, 2013; KIKER et al., 2005 CHO, 2003.

8	TOPSIS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tem um processo simples; 2. Fácil de usar e programar; 3. O número de passos permanece o mesmo, independentemente do número de atributos; 4. Método capaz de tratar adequadamente critérios quantitativos, de fácil entendimento e baixa complexidade computacional; 5. Estável durante a inclusão ou exclusão de alternativas; 6. Não possui limitações na quantidade de fornecedores e de critérios que podem ser avaliados por vez. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seu uso de Distância Euclidiana não considera a correlação de atributos; 2. Difícil de peso e manter a consistência de julgamento; 3. Pouco adequado para a modelagem de variáveis qualitativas. 	<p>VELASQUEZ; HESTER, 2013; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2012.</p>
9	GP	<ol style="list-style-type: none"> 1. Manuseia grande número de variáveis, restrições e objetivos; 2. Simplicidade e facilidade de utilização; 3. Capaz de lidar com problemas de grande escala; 4. Pode produzir infinitas alternativas; 5. Pode incorporar novas restrições aplicáveis consoante o conhecimento sobre o problema. 6. Os inputs são os objetivos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definição de pesos apropriados; 2. Soluções não são eficientes; 3. Sua capacidade de pesar coeficientes; 4. Normalmente necessita de ser usado em combinação com outros métodos de tomada de decisão para pesar os coeficientes; 5. Não existe uma base teórica para a escolha da função objetivo e a variante do modelo a utilizar tem um grande impacto na solução final. 	<p>ARULDOSS et al., 2013; VELASQUEZ; HESTER, 2013. CABALLERO et al., 2006</p>
10	PROMETHEE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Facilidade de utilização 2. Não requer pressuposto que os critérios são proporcionais. 3. Fácil adaptação a linguagem de programação. 4. Independência entre os elementos não é requerida. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não fornece um método limpo pelo qual atribuem-se os pesos. 	<p>VELASQUEZ; HESTER, 2013 SILVA et al., 2013 WANG et al., 2009</p>
11	MACBETH	<ol style="list-style-type: none"> 1. Requer apenas declarações qualitativas para induzir julgamentos de valor; 2. Mais apropriado para os decisores qualitativos; 3. Construi de modelo de valor aditivo multicritério; 4. Abordagem útil em vários processos de tomada de decisão "grupo-participativas". 5. Determinação dos pesos dos critérios por meio de juízos qualitativos de diferença de atratividade entre desempenhos, comparando dois critérios de cada vez. 6. Transforma a escala ordinal em cardinal. 7. Não há restrição entre o nº de critérios e alternativas. 8. Pesos fixos e dados pela importância pelo decisor. 9. Pode ser usado como novas alternativas de modelo sem ter que fazer futuros cálculos. 10. Usa dados qualitativos e quantitativos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Os números de critérios (variáveis) têm que estar dentro da capacidade cognitiva dos decisores 2. Erros de medição. 3. Erros de síntese. 4. Elevado número de comparações, maior que o AHP. 5. <i>Black box</i>. 6. Pouca utilização. 7. <i>Software</i> 100% pago, inclusive para área acadêmica 	<p>MATEUS; BANA E COSTA; MATOS, 2016; BANA E COSTA et al. 2012; MADEIRA JUNIOR et al., 2012.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em complemento às informações da Quadro 4, o Quadro 5 mostra outros fatores referente aos métodos MCDM estudados no referencial teórico deste trabalho.

Quadro 5 - Avaliação dos Critérios MCDM

Alternativa	Critério 1 Complexidade do MCDM (facilidade na utilização)	Critério 2 Quantidade de publicações científicas (>2006)	Critério 3		Critério 4 Precisão no resultado	Critério 5 Modelagem com variáveis qualitativas e quantitativas	Critério 6 Possibilidade de decisão em grupo	Critério 7 Quantidade-limite de alternativas	Critério 8 Quantidade-limite de critérios	Critério 9 Requer independência entre critérios
			Disponibilidade de software (gratuito, pago, custo etc.)							
			Academia	Indústria						
AHP	Muito baixa	15636	Gratuito	Gratuito	Boa	Sim	Sim	9	9	Sim
ANP	Baixa	4358	Gratuito	N/A	Boa	Sim	Sim	Ilimitado	Ilimitado	Não
DEA	Alta	11989	USD 699,00	USD 1.499,00	Boa	Não	Não	Ilimitado	Ilimitado	Não
ELECTRE III	Alta	731	Gratuito	Gratuito	Boa	Sim	Não	Ilimitado	Ilimitado	Não
MAUT	Baixa	251	Gratuito	Gratuito	Boa	Sim	Sim	Ilimitado	Ilimitado	Sim
TOPSIS	Baixa	4337	USD 49,00	USD 49,00	Boa	Não	Não	Ilimitado	Ilimitado	Sim
GOAL PROGRAMMING	moderada	1916	0 / USD 9.295,00	0 / USD 9.295,00	Fraca	Sim	Não	500 / 32000	250 / 16000	Não
PROMETHEE	moderada	818	Gratuito	EUR 1.250,00	Boa	Sim	Sim	10000	10000	Não
MACBETH	moderada	714	EUR 175,00	EUR 17.500,00	Boa	Sim	Sim	Ilimitado	Ilimitado	Sim
DECISION TREE	Muito baixa	29272	USD 1695,00	USD 2295,00	Fraca	Sim	Sim	Ilimitado	Ilimitado	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor

3 MODELAGEM DE SELEÇÃO DE PROJETOS

Neste Capítulo são apresentados os métodos de tomada de decisão multicritério utilizados, as métricas e critérios definidos para a modelagem e aplicação do modelo para seleção de projetos *Lean Six Sigma*.

3.1 SELEÇÃO DO MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO

Como mostrado nas seções 1.2 e 1.3, foram escolhidos dois métodos de tomada de decisão multicritério, PROMETHEE e ANP, com suporte das vantagens e desvantagens evidenciados no Quadro 4 da Seção 2.12 do Capítulo 2. Todavia, para a utilização destes dois métodos foi necessário analisar alguns parâmetros de requisitos mínimos que visem a assertividade do resultado final.

Os critérios selecionados para escolha do método de tomada de decisão multicritério, vistos como essenciais para seleção de projetos LSS foram: complexidade do MCDM (facilidade na utilização); quantidade de publicações científicas desde o ano de 2006; disponibilidade de software (gratuito, pago, etc.); precisão no resultado; modelagem com variáveis qualitativas e quantitativas; possibilidade de decisão em grupo; quantidade limitante de alternativas e de critérios; e não requerer a independência entre os elementos.

O método PROMETHEE atendeu a todos os critérios mencionados anteriormente. É um método MCDM que possui facilidade em classificar critérios tanto qualitativos quanto quantitativos, além de possuir o *software* Visual PROMETHEE. O software, em versão 1.4 de setembro de 2013, foi desenvolvido pela *VPSolutions*, sob supervisão do Prof. Dr. Bertrand Mareschal da ULB, *Université Libre de Bruxelles* (PROMETHEE METHODS, 2017). De acordo com *PROMETHEE Methods* (2017), o programa é gratuito e sem limitações para aplicação acadêmica.

O método ANP, elaborado pelo Prof. Dr. Thomas L. Saaty em 1996, utiliza o *software* *Super Decisions*, o qual foi criado sob a supervisão de Saaty. O ANP e o *Super Decisions* também atendem a todos os critérios mencionados anteriormente.

3.1.1 Parametrização do PROMETHEE para seleção de projetos *Lean Six Sigma*

Entrada de dados no programa Visual PROMETHEE

As comparações pareadas calculadas pelo programa, baseadas no método de tomada de decisão multicritério PROMETHEE, e que resultam na classificação dos projetos, é executado conforme as equações a seguir, adaptadas de PODVEZKO e PODVIEZKO (2010) e SEBASTIÃO (2011).

O grau de preferência multicritério de uma alternativa (projeto) ‘a’ em relação a uma alternativa (projeto) ‘b’ é mostrado na equação (1):

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k w_j P_j(a, b) \quad (1)$$

Onde, para cada critério g_j , P_j é a função preferência e w_j é o peso, e cujas propriedades são:

$$0 \leq \pi(a, b) \leq 1 \quad (2)$$

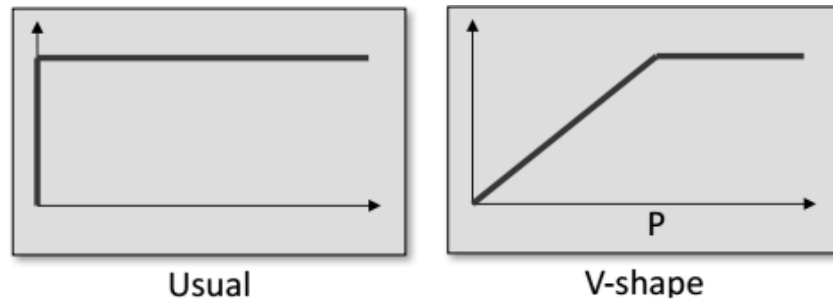
$$\pi(a, b) > 0 \rightarrow \pi(b, a) = 0 \quad (3)$$

Para os critérios qualitativos, a função preferência utilizada foi a “Usual”, e para os critérios quantitativos a função preferência utilizada foi a “V-Shape”, conforme Figura 16.

A função “Usual”, é uma função muito simples e que corresponde a otimização: o maior valor é o melhor, e não possui limites. Não é uma função recomendada para critérios qualitativos, haja visto que a diferença de preço, por exemplo, de R\$1,00 e a diferença de preço de R\$10.000,00 seriam consideradas equivalentes.

A função “V-Shape” é um caso especial da função de preferência linear onde o limiar de indiferença Q é igual a 0. Portanto, é adequado aos critérios quantitativos quando mesmo os desvios pequenos devem ser considerados.

Figura 16 - Funções utilizadas na seleção de projetos utilizando PROMETHEE



Fonte: Elaborado pelo autor

Os fluxos de preferência, Φ^+ para fluxo de saída (quanto maior melhor, o “quão o critério ‘a’ é melhor que os outros) e Φ^- para fluxo de entrada (quanto menor melhor, o “quão os outros critérios são melhores que o critério ‘a’), conforme Seção 2.10 do Capítulo 2 evidencia, possuem o range conforme inequações (4) e (5):

$$\text{Força: } 0 \leq \Phi^+ \leq 1 \quad (4)$$

$$\text{Fraqueza: } 0 \leq \Phi^- \leq 1 \quad (5)$$

E, para o valor do fluxo líquido, Φ , conforme inequação (6):

$$-1 \leq \Phi = \Phi^+ - \Phi^- \leq +1 \quad (6)$$

O fluxo líquido, Φ , possui as seguintes propriedades:

- Para o fluxo líquido centralizado, equação (7):

$$\sum_{a \in A} \Phi(a) = 0 \quad (7)$$

- Fluxo líquido unicritério é apresentado conforme equação (8):

$$\Phi(a) = \sum_{j=1}^k w_j \cdot \Phi_j(a) \quad (8)$$

Com $\phi_j(a)$ sendo:

$$\phi_j(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} [P_j(a, b) - P_j(b, a)] \quad (9)$$

Todas estas equações e propriedades já estão inseridas no *software Visual PROMETHEE* e, dessa forma, os usuários precisarão inserir os dados para que os resultados, tanto Tabelas, quanto Gráficos, do PROMETHEE I, II, V, GAIA entre outros, sejam exibidos, caso não haja inconsistências na utilização do programa.

3.1.2 Parametrização do ANP para seleção de projetos *Lean Six Sigma*

Conforme descrito na Seção 2.2 do Capítulo 2, o ANP fornece uma abordagem precisa para modelar um ambiente de decisão complexa (HASAN, SARKIS, SHANKAR; 2012). Quando existem muitos conjuntos de seleção diferentes para decisões multiobjetivos, multicritérios e multicomportamentos, o ANP pode fornecer uma arquitetura com boa compatibilidade e que pode ser usada indiscriminadamente como prioridade de cada conjunto para facilitar a seleção dos conjuntos de decisão (CHIANG; CHEN; HO, 2016).

O software *Super Decisions*, versão 3.0 beta foi utilizado para construir o modelo e calcular a consistência e o resultado. O método ANP e o processo de análise não resumidas nas quatro etapas mais detalhadas na Seção 2.2 do Capítulo 2 (HASAN, SARKIS, SHANKAR, 2012; CHIANG; CHEN; HO, 2016): comparação em pares entre fatores; teste de consistência do ANP; cálculo da super-matriz; classificação do melhor conjunto (alternativa).

Com relação à super-matriz do sistema e n-grupos descrita na etapa 3, A super-matriz de um sistema de n-grupos é mostrada na Figura 17.

Figura 17 - Super-matriz de um sistema de n-grupos

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & & C_h & & C_n \\ e_{11} & \dots & e_{1m_1} & & e_{h1} & \dots & e_{hm_h} & & e_{n1} & \dots & e_{nm_n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1: \\ e_{11} \\ \vdots \\ e_{1m_1} \\ C_h: \\ e_{h1} \\ \vdots \\ e_{hm_h} \\ \vdots \\ C_n: \\ e_{n1} \\ \vdots \\ e_{nm_n} \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1h} & \dots & w_{1n} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{h1} & \dots & w_{hh} & \dots & w_{hn} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & \dots & w_{nh} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Fonte: CHIANG, CHEN, HO; 2016

Na matriz mostrada na Figura 17, C_h é o h -ésimo grupo ($h=1, 2, \dots, n$), que tem m_h fatores denotados como $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hm_h}$. W_{ij} representa uma relação entre o i -ésimo grupo e o j -ésimo grupo.

No método ANP, existem três super-matrizes associadas com cada rede: super-matriz não ponderada, super-matriz ponderada e super-matriz limite. A coluna de cada sub-matrix da super-matriz não ponderada é um vetor de prioridade local, e a super-matriz não ponderada (W) é inicial. Uma super-matriz ponderada ($W_{ponderada}$) é obtida multiplicando os fatores da super-matriz não ponderada pelo peso apropriado do cluster, e de modo que cada campo reto se adicione a 1. Uma super-matriz limite (W_{lim}) é obtida por elevando a super-matriz ponderada aos poderes, multiplicando-os vezes. A matriz limite foi alcançada e o processo de multiplicação da matriz é interrompido quando a coluna de números é a mesma para cada coluna. A super-matriz limite é calculada como a equação (10).

$$W_{lim} = \lim_{k \rightarrow \infty} (W_{ponderada})^k \quad (10)$$

O *Super Decisions* faz todos estes cálculos e dá sequência a essas etapas de acordo com a inserção dos dados, realizando a parte matemática do método de tomada de decisão multicritério ANP de forma automática para o decisor.

3.2 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE PROJETOS LEAN SIX SIGMA

Uma vez definido o método MCDM para a seleção de projetos, resta agora definir os critérios para esta tomada de decisão.

Conforme visto nas seções 2.1.4 e 2.1.5, os fatores críticos de sucesso e fatores críticos de fracasso tiveram resultados relevantes, em ambos os casos, para Seleção de Projetos, influenciando na sustentabilidade de uma empresa e, inclusive, na manutenção dos programas de qualidade, como o caso do LSS.

Fernandes e Turrioni (2007) utilizam a definição de CTQ (do Inglês *critical to quality*), ou seja, elementos críticos para a qualidade, como critérios para a seleção de projetos *Lean Six Sigma*.

As diretrizes à seleção de projetos *Lean Six Sigma*, como resultado da revisão bibliográfica deste trabalho encontram-se a seguir:

- a) Seleção de projetos quanto aos resultados potenciais:
 - Foco no cliente;
 - Ligação com a estratégia do negócio;
 - Retorno financeiro.

- b) Seleção de projetos quanto ao problema a ser resolvido:
 - Problemas na estruturação do projeto;
 - Proporcionalidade com os recursos disponíveis;
 - Potencial de término em curto período de tempo;
 - Problemas mensuráveis.

Estas diretrizes são mencionadas na Tabela 3, bem como os respectivos pesos.

Tabela 3 - Pesos das diretrizes para seleção de projetos LSS

Diretrizes para seleção de projetos LSS	Peso da diretriz
Foco no cliente	30
Ligação com a estratégia de negócios	15
Retorno financeiro	15
Problemas na estruturação do projeto	10
Proporcionalidade com os recursos disponíveis	10
Potencial término em curto período de tempo	10
Problemas mensuráveis	10

Fonte: Adaptado de (FERNANDES; TURRIONI, 2007)

3.3 INSERÇÃO DAS DIRETRIZES NO PROGRAMA VISUAL PROMETHEE

Com os critérios definidos baseados nos fatores críticos, foram inseridas as diretrizes (critérios) no programa, restando, por fim, inserir os projetos (alternativas) e efetuar o teste de tomada de decisão. Estes testes e inserção das alternativas são apresentadas no Capítulo 4, que trata da modelagem.

A Tabela 4 mostra os critérios já inseridos no programa.

Tabela 4 - Critérios inseridos para priorização de projetos (PROMETHEE)

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Seleção de Projeto...	Foco no cliente	Retorno Fina...	Ligação com ...	Problemas e...	Proporcionali...	Potencial tér...	Problemas m...
Unit	Qualitativo	R\$	Qualitativo	Qualitativo	Proporcionalida	Meses	Problemas
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences							
Min/Max	max	max	max	min	min	min	min
Weight	30,00	15,00	15,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Preference Fn.	Usual	V-shape	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	R\$ 81.180,83	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics							
Minimum	1,00	R\$ 0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Maximum	3,00	R\$ 191.000,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Average	1,46	R\$ 21.085,15	2,27	2,12	2,62	2,23	2,42
Standard Dev.	0,57	R\$ 40.785,66	1,09	1,20	1,24	1,31	1,26

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 INSERÇÃO DAS DIRETRIZES NO PROGRAMA SUPER DECISIONS

Para a inserção no *Super Decisions* de modo a realizar a tomada de decisão baseado no ANP, foi inserido conforme Figura 18, baseados nos critérios da mesma forma que foi utilizado para inserção dos dados na Seção 3 do Capítulo 3.

Figura 18 - Critérios inseridos para priorização de projetos (ANP)

Double click criterion to add it

Currently chosen ratings criteria:

- Foco no Cliente
- Ligação com a Estratégia
- Potencial término em c
- Problemas Estruturais
- Problemas mensuráveis
- Proporcionalidade de r
- Retorno Financeiro

Select criteria to remove:

Remove Criteria

Step 2: Add alternatives

Step 3: Define rating scale for each criterion

Ratings Table

Display Options: Category Names, Category Priorities, Both

Show/Hide: Priorities Column, Totals Column

Calculations: Synthesize, Synthesize whole model, Column Priorities

Manage Ratings: Copy Ratings Table to Clipboard, Clear Ratings Judgments, Revert to Relative Model

To rate an alternative with respect to a criterion, click the cell. Then click the down arrow to display the Rating scale. Click to select the one you think applies. Move to the next cell by clicking with the mouse.

Alternatives	Priorities	Totals	Foco no Cliente (0.3080)	Ligação com a ... (0.1540)	Potencial térmi... (0.1027)	Problemas Estr... (0.1027)	Problemas me... (0.0856)	Proporcionalid... (0.1074)	Retorno Financ... (0.1397)
--------------	------------	--------	-----------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Fonte: Elaborado pelo autor

4 APLICAÇÕES DOS MÉTODOS

Foram realizadas duas pesquisas em uma empresa multinacional com sede no Brasil. Esta empresa será denotada na modelagem como Empresa A. Detalhes a respeito de suas características são apresentados a seguir.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA

A Empresa A fundada há mais de 140 anos, mais de 11 mil funcionários e está presente em mais de 100 países.

4.2 PRODUTOS

A Empresa A é líder mundial em fabricação de explosivos comerciais e sistemas inovadores de explosão para os mercados de mineração, pedreiras, óleo e gás e também construção. Fornecedor especializado de serviços de suporte terrestre em mineração e tunelamento.

4.3 TIPOS DE PROJETOS

A Empresa A possui projetos diversos, contidos em um programa de melhorias, o qual qualquer colaborador, nomeado tutor do projeto, somado a uma equipe de projeto (idealizadores) cadastra em um banco de dados, com a situação atual, proposta da melhoria, ganho etc. em formato de A3.

O método A3 é uma técnica de resolução de problemas, criado pela Toyota para descrever o processo de obter relatórios em uma página, uma ferramenta eficaz pois contém texto, mas imagens, diagramas e Gráficos, que enriquecem e esclarecem os dados do projeto, sendo potencialmente útil para a melhoria contínua em toda a organização, baseando-se basicamente

no ciclo PDCA (LENORT et al., 2017). Os exemplos de A3 (antes da implementação do trabalho na Empresa A e depois da implementação) estão no Anexo 3

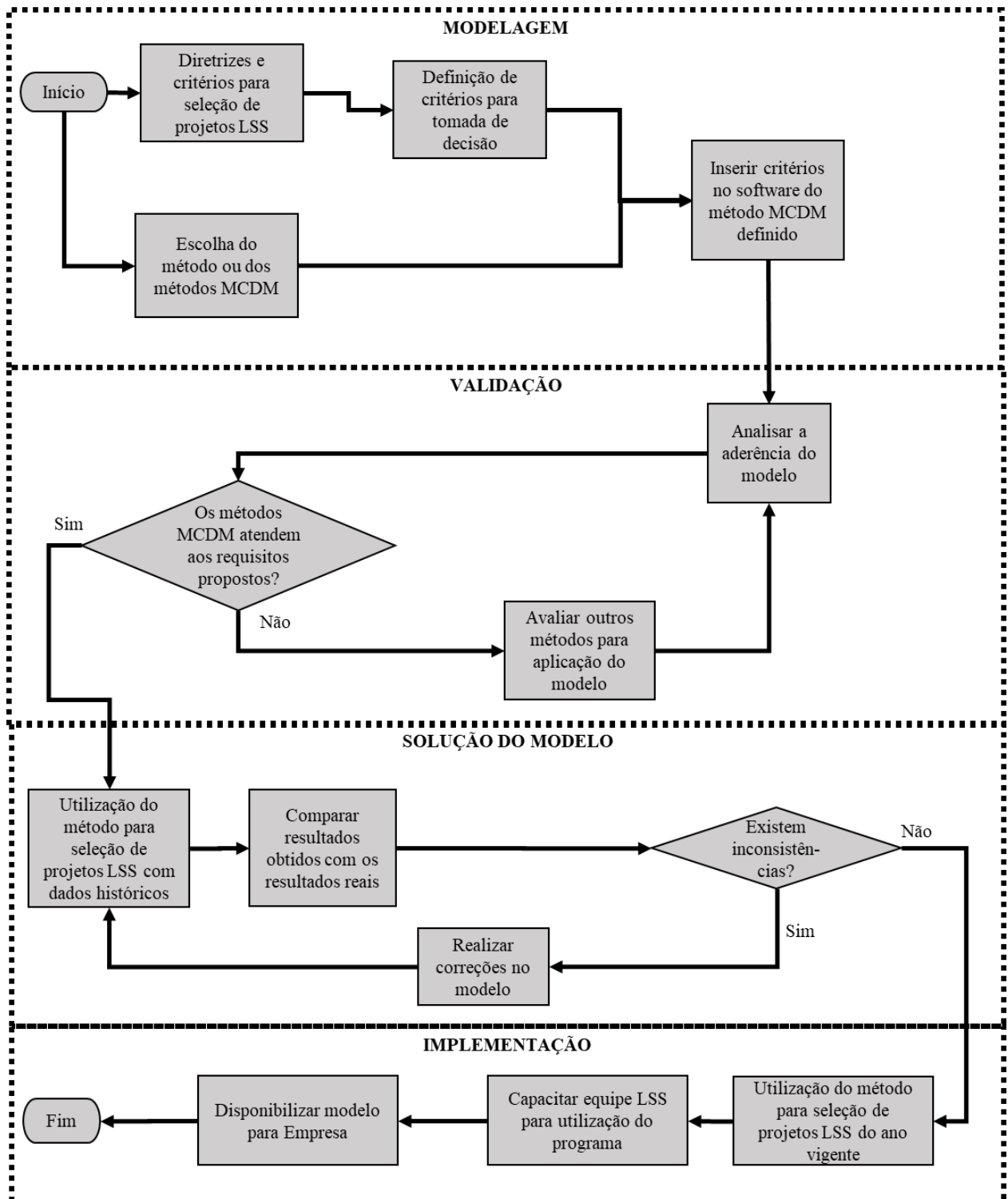
Após a elaboração do A3, este é enviado para a análise da área de *Lean Six Sigma*, composta por engenheiros e técnicos de processos. Esta equipe faz a análise e pontua os projetos de acordo com os quatro pilares da empresa:

- SH&E: Segurança, saúde e meio ambiente;
- Propriedade comercial: *payback*, redução de custos, ganhos a pequeno, médio ou longo prazo;
- Soluções criativas: aumento de produtividade, benefício ao cliente interno, benefício ao cliente externo, melhorias dentro do próprio setor; e
- Trabalhar juntos: conceitos de *yokoten* (reuso de ideias que beneficiem mais de uma área).

4.4 FLUXOGRAMA DE APLICAÇÃO DOS MÉTODOS MCDM PARA SELEÇÃO DE PROJETOS

O fluxograma da Figura 19 correlaciona o passo-a-passo da aplicação do método ao método de pesquisa, mostrado na Seção 5 do Capítulo 1.

Figura 19 - Etapas da modelagem e aplicação do método



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 APLICAÇÕES DOS MÉTODOS MCDM NA EMPRESA A – PRIMEIRA ETAPA

Foram selecionados 52 projetos aprovados na carta de projetos de 2016, nomeados de P01 à P52. Esta primeira etapa teve a finalidade de analisar a aderência do modelo, conforme etapa 3 (validação) do método de pesquisa descrito na Figura 4, na Seção 5 do Capítulo 1 deste trabalho.

Seguindo os passos do método de pesquisa, nesta primeira etapa foi feita a análise de aderência, em seguida analisados os resultados para verificar a necessidade de revisão do modelo em implementação.

O Quadro 6 mostra os testes realizados na primeira etapa, seus objetivos e resultados esperados.

Quadro 6 – Primeira etapa da aplicação do método

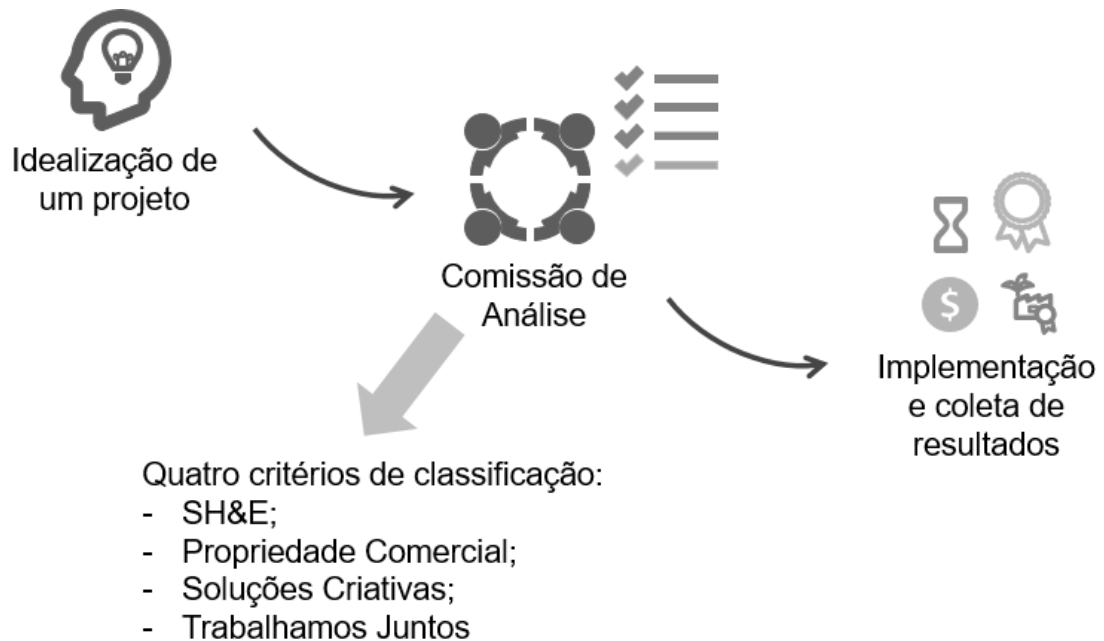
1ª Etapa da aplicação do método - Carta de projetos de 2016 já implementados			
Nº	Teste	Objetivo	Resultados esperados
1º	Critérios de avaliação da empresa	Mostrar como a Empresa A faz a classificação de projetos	Avaliar os prós e contras do método utilizado pela Empresa A
2º	Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios da empresa	Utilizar método MCDM para classificação de projetos com critérios da Empresa A	Comparar o uso de planilha com relação ao uso de método MCDM
3º	Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios baseado em fatores críticos	Utilizar método MCDM PROMETHEE para classificação de projetos com critérios propostos na dissertação	Avaliar os prós e contras da utilização do PROMETHEE, comparando aos resultados reais dos projetos
4º	Utilizando método multicritério ANP com critérios baseado em fatores críticos	Utilizar método MCDM ANP para classificação de projetos com critérios propostos na dissertação	Avaliar os prós e contras da utilização do ANP, comparando aos resultados reais dos projetos, comparar o PROMETHEE com o ANP para esta aplicação.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.1 Primeiro teste: Critérios de avaliação da empresa

A gestão de projetos da Empresa A é realizada conforme Figura 20.

Figura 20 - Gestão de projetos atual na Empresa A



Fonte: Elaborado pelo autor

Estes projetos foram previamente classificados de acordo com o método de seleção atual, brainstorming entre cinco membros da comissão de análise, que classificaram conforme as pontuações a seguir referentes aos quatro pilares mencionados na Seção 3 do Capítulo 4:

a) SH&E

Sem relação com SH&E = 0

Corretiva = 1

Preventiva = 2

Evita acidentes/incidentes diretamente = 3

b) Propriedade Comercial

Sem benefício = 0

Abaixo de R\$ 5k = 1

Entre R\$ 5k e R\$10k = 2

Acima de R\$ 10k = 3

c) Soluções Criativas

Melhoria interna (própria área) = 1

Aumenta Produtividade = 2

Beneficia o cliente externo/ interno = 3

d) Trabalhar Juntos

Uma área/site envolvido = 1

Duas áreas/sites envolvidos = 2

Três áreas/sites envolvidos = 3

Os resultados da análise geraram os seguintes projetos escolhidos, chamados “top 6”. Destes seis projetos, foram priorizados os três melhores e depois feita a sequência conforme a classificação, de acordo com o Quadro 7:

Quadro 7 - Projetos escolhidos para priorização

Projeto	Título do Projeto	SHE	Propriedade Comercial	Soluções Criativas	Working Together	TOTAL	Status
P040	Melhorias ambientais, redução de perda de matéria-prima e redução de custo na produção de Emulsão	1	3	2	2	8	Escolhido
P050	Redução do tamanho de tubo de 6m cortados nas bobinadeiras 1 e 2	0	3	2	3	8	Escolhido
P020	Redução de custo na compra de mangueira pneumática e tempo de manutenção nas painéis de vácuo	1	1	3	2	7	Escolhido
P032	Redução de Custo na compra de Tubo de Chumbo	0	3	1	2	6	Finalista
P044	Alto custo na iluminação no processo de carregar e descarregar material no Prédio E-336	0	3	1	1	5	Finalista
P022	Instalação da cortadeira de Tubo 0,85m no setor de Tubo Exel	0	1	2	2	5	Finalista

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.2 Segundo teste: Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios da empresa

Utilizando o método de decisão multicritério PROMETHEE, por meio do programa Visual PROMETHEE (mencionado na Seção 1 do Capítulo 3), e mantendo os critérios utilizados pela comissão de análise, tem-se o seguinte resultado conforme Tabela 5:

Tabela 5 – Seleção de projetos LSS de 2016 utilizando o PROMETHEE, com base nos critérios de seleção da empresa

Rank	Projeto	Phi	Phi+	Phi-
1	P40	0,5196	0,6225	0,1029
2	P36	0,4853	0,5931	0,1078
3	P34	0,4608	0,5735	0,1127
3	P50	0,4608	0,5735	0,1127
5	P20	0,4314	0,6471	0,2157
6	P13	0,3971	0,5686	0,1716
7	P14	0,3578	0,5245	0,1667
8	P29	0,3431	0,4706	0,1275
9	P06	0,3284	0,5147	0,1863
10	P45	0,2745	0,4755	0,201
11	P42	0,2402	0,4461	0,2059
12	P01	0,2206	0,4167	0,1961
12	P07	0,2206	0,4167	0,1961
12	P23	0,2206	0,4167	0,1961
12	P47	0,2206	0,4167	0,1961
16	P22	0,1471	0,3971	0,25
16	P39	0,1471	0,3971	0,25
18	P17	0,1225	0,3627	0,2402
19	P11	0,1127	0,3775	0,2647
20	P24	0,1029	0,3333	0,2304
20	P30	0,1029	0,3333	0,2304
22	P32	0,098	0,3235	0,2255
23	P26	0,0392	0,3235	0,2843
24	P27	0,0343	0,3137	0,2794
24	P48	0,0343	0,3137	0,2794
26	P12	0,0147	0,2843	0,2696
27	P03	-0,1127	0,2402	0,3529
28	P09	-0,1275	0,2402	0,3676
29	P25	-0,1422	0,1863	0,3284
29	P44	-0,1422	0,1863	0,3284
29	P46	-0,1422	0,1863	0,3284
29	P51	-0,1422	0,1863	0,3284
29	P52	-0,1422	0,1863	0,3284
34	P02	-0,2059	0,1765	0,3824
34	P05	-0,2059	0,1765	0,3824
34	P08	-0,2059	0,1765	0,3824
34	P15	-0,2059	0,1765	0,3824
34	P28	-0,2059	0,1765	0,3824
34	P38	-0,2059	0,1765	0,3824
34	P43	-0,2059	0,1765	0,3824
41	P16	-0,2255	0,1471	0,3725
41	P21	-0,2255	0,1471	0,3725
41	P35	-0,2255	0,1471	0,3725
44	P33	-0,2304	0,1373	0,3676
45	P18	-0,2647	0,1324	0,3971
45	P19	-0,2647	0,1324	0,3971
45	P31	-0,2647	0,1324	0,3971
48	P41	-0,2941	0,152	0,4461
49	P37	-0,3382	0,1127	0,451
50	P04	-0,4706	0	0,4706
50	P10	-0,4706	0	0,4706
50	P49	-0,4706	0	0,4706

Fonte: Elaborado pelo Autor

A entrada dos dados neste caso foi feita nos mesmos moldes da análise realizada pela comissão de análise, para verificar a assertividade do método de tomada de decisão, sendo que os pesos dos critérios foram igualmente divididos, ou seja, 25% para cada critério.

4.5.3 Terceiro teste: Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios baseado em fatores críticos

Neste terceiro teste, foram utilizados os critérios de seleção conforme os fatores críticos, dissertados na Seção 2 do Capítulo 3, divididos em:

- a) Quanto aos resultados potenciais, conforme Tabela 6 (em destaque o nome do critério e, em parênteses, o respectivo peso):

Tabela 6 – Critérios quanto aos resultados potenciais

Foco no cliente (30)
Foco apenas na área = 1
Foco no cliente interno = 3
Foco no cliente externo = 5
Ligação com a estratégia do negócio (15)
Sem ligação = 1
Atende os requisitos de 1 pilares = 2
Atende os requisitos de 2 pilares = 3
Atende os requisitos de 3 pilares = 4
Atende os requisitos de 4 pilares = 5
Retorno financeiro (15)
Medido em escala quantitativa, por meio do valor de retorno financeiro em R\$

Fonte: Elaborado pelo autor

- b) Quanto ao problema a ser resolvido, conforme Tabela 7 (em destaque o nome do critério e, em parênteses, o respectivo peso):

Tabela 7 – Critérios quanto ao problema a ser resolvido

Problemas na estruturação do projeto (10)
Sem problemas estruturais = 1
Com problemas possíveis de resolver = 3
Com problemas no escopo = 5
Proporcionalidade com os recursos disponíveis (10)
Sem custo = 1
<i>Payback</i> de 1 ano = 3
<i>Payback</i> maior que 1 ano = 5
Potencial término em curto período de tempo (10)
De 1 a 6 meses = 1
De 6 a 12 meses = 3
12 meses ou mais = 5
Problemas mensuráveis (10)
Sem problemas = 1
Existe capacidade de medir = 3
Sem capacidade para medir = 5

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que, para os três critérios de resultados potenciais, Tabela 6, quanto maior melhor (maximizado) e os critérios quanto ao problema a ser resolvido, Tabela 7, quanto menor melhor (minimizado).

Para esta análise, foi elaborado um novo modelo de carta de projetos, conforme modelo contido no Anexo 1, e foram inseridos todos os projetos neste novo formato e, com base nestes critérios, foi realizada nova inserção de dados no programa, com ponderações feitas por meio dos cinco membros da comissão de análise de projetos e os resultados são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Seleção de projetos LSS de 2016 utilizando o PROMETHEE, com base nos critérios de seleção com enfoque em fatores críticos

Rank	Projeto	Phi	Phi+	Phi-
1	P40	0,4411	0,524	0,0829
2	P50	0,4358	0,5193	0,0835
3	P20	0,3857	0,5228	0,1371
4	P30	0,3134	0,4857	0,1723
5	P12	0,2616	0,4206	0,159
6	P26	0,2537	0,3873	0,1335
7	P06	0,2192	0,4326	0,2134
8	P09	0,2067	0,3696	0,1629
9	P34	0,1681	0,4312	0,2631
10	P14	0,1508	0,3637	0,2129
11	P17	0,147	0,3475	0,2005
12	P24	0,1378	0,3517	0,2139
13	P42	0,1193	0,3288	0,2096
14	P22	0,0877	0,3131	0,2253
15	P23	0,0844	0,3114	0,227
16	P52	0,0841	0,3268	0,2427
17	P29	0,0841	0,391	0,3069
18	P16	0,0802	0,3157	0,2355
18	P35	0,0802	0,3157	0,2355
20	P51	0,0607	0,3421	0,2814
21	P33	0,0596	0,2873	0,2276
22	P02	0,0518	0,2637	0,212
22	P08	0,0518	0,2637	0,212
24	P13	0,0298	0,2993	0,2695
25	P32	0,0251	0,2704	0,2453
26	P11	0,0243	0,2676	0,2433
27	P36	0,0204	0,3321	0,3116
28	P01	-0,0012	0,2726	0,2739
29	P21	-0,0061	0,2588	0,2649
30	P39	-0,0125	0,2658	0,2783
31	P10	-0,0257	0,2373	0,2629
32	P05	-0,0404	0,2206	0,261
32	P15	-0,0404	0,2206	0,261
32	P38	-0,0404	0,2206	0,261
35	P43	-0,0463	0,2245	0,2708
36	P27	-0,0718	0,2127	0,2845
37	P44	-0,0908	0,1947	0,2856
38	P47	-0,1036	0,2581	0,3617
39	P49	-0,1159	0,1784	0,2943
40	P03	-0,1325	0,1676	0,3002
41	P07	-0,1918	0,2383	0,4301
42	P31	-0,1956	0,1492	0,3448
43	P46	-0,2048	0,2066	0,4114
44	P48	-0,2149	0,1637	0,3786
45	P25	-0,2362	0,1542	0,3904
46	P41	-0,2561	0,1539	0,41
47	P45	-0,2679	0,1322	0,4001
48	P28	-0,2914	0,1127	0,4041
49	P19	-0,2932	0,0959	0,3891
50	P37	-0,2985	0,0831	0,3816
51	P18	-0,4373	0,0364	0,4738
52	P04	-0,4492	0,0275	0,4767

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 21 mostra os resultados em forma gráfica. Acima do eixo central, os projetos que obtiveram resultados com fluxo de preferência líquido (Phi) positivo. Abaixo do eixo central, os projetos que obtiveram resultados com fluxo de preferência líquido negativo.

Esta ferramenta fornecida pelo programa, baseada no PROMETHEE GAIA, fornece a opção de ponderar os pesos, *The Walking Weights* (em tradução livre: pesos flutuantes ou caminhantes). Esta ferramenta altera de forma visual os resultados das escolhas de acordo com as novas distribuições dos pesos em relação às alternativas. Utilizando os pesos definidos neste trabalho, o resultado é o do Figura 21.

Os resultados do Figura 21 podem ser modificados se, por exemplo, como é mostrado no Figura 22, por alguma estratégia pontual da empresa é decidido, ao invés de “foco no cliente” possuir peso de 30%, passar para 15% e o critério “retorno financeiro” passar a ter este peso de 30%.

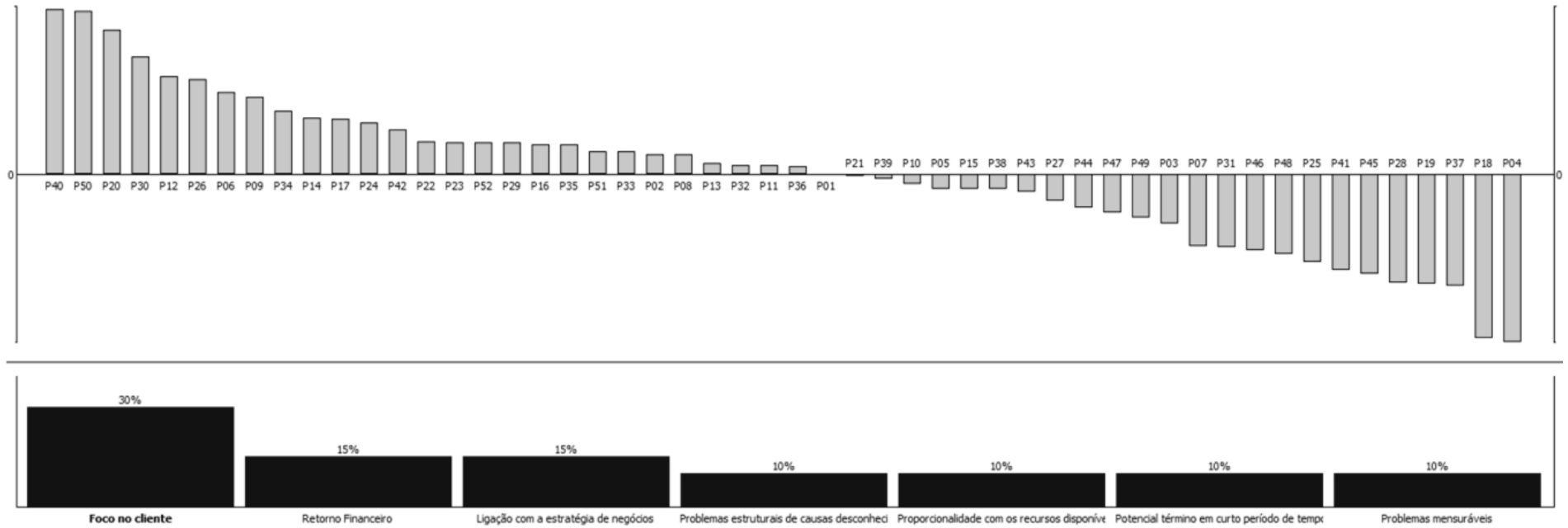
Como resultado, ao alterar estes pesos, têm-se algumas posições na classificação inalteradas, como é o caso do projeto P40 e do projeto P50. Porém não é o caso da terceira posição, o P20, que caiu para o nono posto.

Outro fator evidenciado nesta análise é referente ao P46, que estava na posição de número 43 conforme o Figura 21 e que, ao reduzir o peso do critério “foco no cliente” e aumentar no critério “retorno financeiro”, subiu para a posição de número 23.

Estas alternâncias ficam evidentes ao fazer uma comparação do projeto P20 com o P46, os respectivos resultados em retorno financeiro: enquanto o P20 teve um retorno financeiro estimado em R\$4.850,00, o P46 teve um retorno financeiro estimado em R\$113.000,00. Contudo, no critério “foco no cliente”, o P20 possui foco direto no cliente externo, enquanto o P46 possui melhoria no setor, ou seja, sem foco no cliente interno ou externo.

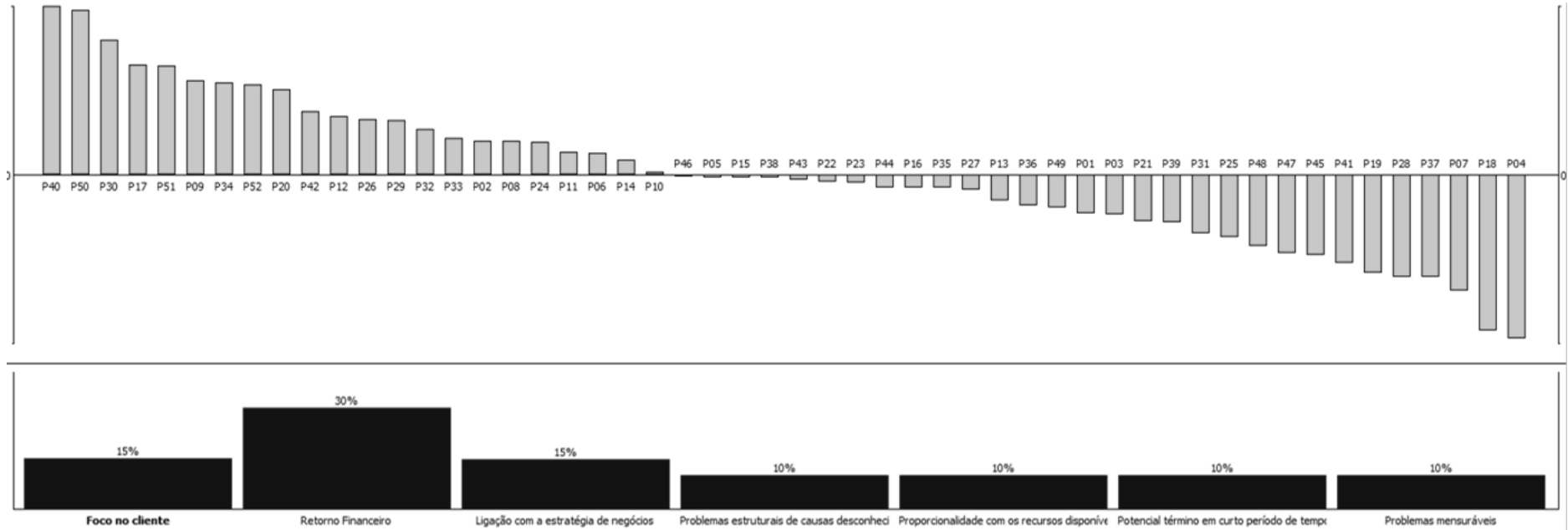
É interessante ressaltar que em muitos casos para a alta administração o retorno financeiro a curto prazo é importante, contudo sem levar em conta que, um projeto focado no cliente externo pode render novos contratos e retorno em médio e longo prazo ao caixa da empresa mais satisfatórios. Desta forma, é muito importante reduzir as tendências de fator humano na decisão.

Figura 21 - Resultados dos projetos na Empresa A – análise gráfica com ponderamento de pesos pré-definidos



Fonte: Gerado pelo programa Visual PROMETHEE

Figura 22 - Resultados dos projetos na Empresa A – ponderando “Retorno Financeiro” com 30% e “Foco no cliente com 15%”



Fonte: Gerado pelo programa Visual PROMETHEE

O programa Visual PROMETHEE gera, ao final da análise, um relatório completo com os valores, a Tabela de alternativas e critérios.

Este relatório inclui Gráficos chamados “perfil da alternativa”, onde exibe cada fluxo líquido unicritério para cada alternativa selecionada e mostra o fator de influência que cada critério teve no fluxo líquido parcial da alternativa, utilizando o PROMETHEE I, bem como inclui os Gráficos de teia de aranha (GAIA-web), dentre outros que facilitam a análise, porém somente com o Gráfico do *walking weights*, baseados em GAIA e no fluxo líquido total do PROMETHEE II já atendem às necessidades desta pesquisa, incluindo a Tabela com a classificação com ordem no fluxo líquido.

4.5.4 Quarto teste: Utilizando método multicritério ANP com critérios baseado em fatores críticos

Assim como no terceiro teste, no quarto teste foram utilizados os critérios de seleção conforme os fatores críticos, dissertados na Seção 2 do Capítulo 3. A diferença é que o ANP não cria as alternativas de cada critério com pesos e sim com comparações entre elas.

- a) Quanto aos resultados potenciais, conforme Tabela 9 (em destaque o nome do critério e, em parênteses, o respectivo peso):

Tabela 9 – Critérios quanto aos resultados potenciais

Foco no cliente (30)					
Matriz ANP				Peso	
	Apenas na área	Cliente interno	Cliente externo		
Apenas na área	1	1/5	1/7	Apenas na área	0,0935
Cliente interno	5	1	1/5	Cliente interno	0,3507
Cliente externo	7	5	1	Cliente externo	1,0000

Ligação com a estratégia do negócio (15)						
Matriz ANP					Peso	
	Atende 1 pilar	Atende 2 pilares	Atende 3 pilares	Atende 4 pilares		
Atende 1 pilar	1	1/3	1/5	1/7	Atende 1 pilar	0,0978
Atende 2 pilares	3	1	1/5	1/5	Atende 2 pilares	0,2080
Atende 3 pilares	5	3	1	1/3	Atende 3 pilares	0,4641
Atende 4 pilares	7	5	3	1	Atende 4 pilares	1,0000

Retorno financeiro (15)						
Matriz ANP					Peso	
	0 a 20k BRL	20 a 50k BRL	50 a 100k BRL	> 100k BRL		
0 a 20k BRL	1	1/3	1/5	1/7	0 a 20k BRL	0,0978
20 a 50k BRL	3	1	1/5	1/5	20 a 50k BRL	0,2080
50 a 100k BRL	5	3	1	1/3	50 a 100k BRL	0,4641
> 100k BRL	7	5	3	1	> 100k BRL	1,0000

Problemas na estruturação do projeto (10)				Peso	
Matriz ANP					
	Sem problemas estruturais	Problemas possíveis de resolver	Problemas de escopo		
Sem problemas estruturais	1	1/5	1/7	Sem problemas estruturais	0,0935
Problemas possíveis de resolver	5	1	1/5	Problemas possíveis de resolver	0,3507
Problemas de escopo	7	5	1	Problemas de escopo	1,0000

Fonte: Elaborado pelo autor

- b) Quanto ao problema a ser resolvido, conforme Tabela 10 (em destaque o nome do critério e, em parênteses, o respectivo peso):

Tabela 10 – Critérios quanto ao problema a ser resolvido

Problemas na estruturação do projeto (10)				Peso	
Matriz ANP					
	Sem problemas estruturais	Problemas possíveis de resolver	Problemas de escopo		
Sem problemas estruturais	1	1/5	1/7	Sem problemas estruturais	0,0935
Problemas possíveis de resolver	5	1	1/5	Problemas possíveis de resolver	0,3507
Problemas de escopo	7	5	1	Problemas de escopo	1,0000

Proporcionalidade com os recursos disponíveis (10)				Peso	
Matriz ANP					
	Payback > 1 ano	Payback até 1 ano	Sem custos		
Payback > 1 ano	1	1/5	1/7	Payback > 1 ano	0,0935
Payback até 1 ano	5	1	1/5	Payback até 1 ano	0,3507
Sem custos	7	5	1	Sem custos	1,0000

Potencial término em curto período de tempo (10)				Peso	
Matriz ANP					
	Sem capacidade de medir	Existe capacidade de medir	Sem problemas para implementar		
De 1 a 6 meses	1	1/3	1/5	Payback > 1 ano	0,1644
De 6 a 12 meses	3	1	1/3	Payback até 1 ano	0,4055
12 meses ou mais	5	3	1	Sem custos	1,0000

Problemas mensuráveis (10)				Peso	
Matriz ANP					
	Sem capacidade de medir	Existe capacidade de medir	Sem problemas para implementar		
Sem capacidade de medir	1	1/5	1/7	Payback > 1 ano	0,0935
Existe capacidade de medir	5	1	1/5	Payback até 1 ano	0,3507
Sem problemas para implementar	7	5	1	Sem custos	1,0000

Fonte: Elaborado pelo autor

Inserindo os dados de acordo com as parametrizações definidas anteriormente, os resultados para os 52 projetos de 2016 da Empresa A, de acordo com o método MDCM ANP, é mostrado na Tabela 11. A classificação é realizada por meio da coluna *ideals*, a coluna *Normal* mostra o auto-vetor resultante da matriz para cada alternativa, e *Raw* é o valor bruto encontrado. A partir destes dois valores que é definido proporcionalmente a primeira à última posição na classificação.

Tabela 11 - Seleção de projetos LSS de 2016 utilizando o ANP, com base nos critérios de seleção com enfoque em fatores críticos

Project	Ideals	Normals	Raw
P20	1,000000	0,033346	0,033346
P12	0,983400	0,032792	0,032792
P40	0,861741	0,028736	0,028736
P50	0,861741	0,028736	0,028736
P06	0,858411	0,028625	0,028625
P51	0,854321	0,028488	0,028488
P30	0,826786	0,027570	0,027570
P09	0,819828	0,027338	0,027338
P17	0,756841	0,025238	0,025238
P42	0,729630	0,024330	0,024330
P33	0,729332	0,024320	0,024320
P10	0,705152	0,023514	0,023514
P52	0,705152	0,023514	0,023514
P32	0,666345	0,022220	0,022220
P02	0,642166	0,021414	0,021414
P08	0,642166	0,021414	0,021414
P44	0,639133	0,021313	0,021313
P26	0,632688	0,021098	0,021098
P24	0,632687	0,021098	0,021098
P34	0,632513	0,021092	0,021092
P14	0,616088	0,020544	0,020544
P11	0,607508	0,020258	0,020258
P29	0,605301	0,020184	0,020184
P49	0,590774	0,019700	0,019700
P16	0,581296	0,019384	0,019384
P35	0,581296	0,019384	0,019384
P46	0,574163	0,019146	0,019146
P05	0,544224	0,018148	0,018148
P15	0,544224	0,018148	0,018148
P38	0,544224	0,018148	0,018148
P22	0,531714	0,017731	0,017731
P39	0,531714	0,017731	0,017731
P43	0,527788	0,017600	0,017600
P31	0,517012	0,017240	0,017240
P23	0,515278	0,017182	0,017182
P25	0,509258	0,016982	0,016982
P21	0,483355	0,016118	0,016118
P27	0,441728	0,014730	0,014730
P36	0,433152	0,014444	0,014444
P41	0,430643	0,014360	0,014360
P03	0,429847	0,014334	0,014334
P01	0,417336	0,013916	0,013916
P13	0,404834	0,013500	0,013500
P19	0,402635	0,013426	0,013426
P37	0,386199	0,012878	0,012878
P48	0,343787	0,011464	0,011464
P47	0,342656	0,011426	0,011426
P07	0,307690	0,010260	0,010260
P45	0,304682	0,010160	0,010160
P28	0,280502	0,009354	0,009354
P18	0,253290	0,008446	0,008446
P04	0,224364	0,007482	0,007482

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.5 Análise dos resultados encontrados na primeira etapa

Com relação aos quatro testes, cabe ressaltar novamente que os todos foram realizados com dados coletados pelo comitê de análise, um grupo com cinco participantes que fizeram as ponderações baseadas nos resultados reais dos projetos de 2016 que, posteriormente, foram inseridos no programa para a geração dos resultados. Isto foi proposto pois o comitê de análise é detentor de capacidade técnica para classificação dos projetos de acordo com os critérios estabelecidos, tanto pela própria Empresa A quanto pelos critérios propostos neste trabalho.

Neste tópico foram feitas quatro análises comparativas referentes às divergências nos resultados dos quatro testes.

Fazendo um comparativo das alternâncias de posição de alguns projetos entre o primeiro e o segundo teste, tem-se:

Entre os dois testes houve concordância com os resultados realizados ponderados de acordo com a matriz de pontuação direta (Tabela 11) que a Empresa A utiliza e a inserção destes valores no programa Visual PROMETHE nos projetos P40, P50 e P20 que se mantiveram entre os seis melhores pontuados, inclusive com o projeto P40 se mantendo na primeira colocação.

Os projetos P32, P44 e P22, que no primeiro teste se encontravam entre os melhores classificados, ficaram no segundo teste nas posições 22, 29 e 16 respectivamente.

Em contrapartida, os projetos P36, P34 e P13 que não estavam entre os mais classificados no primeiro teste, aparecem nas posições 2, 3 e 6 respectivamente.

Esses resultados foram dispersos porque, ao fazer a revisão dos projetos após a implementação, verificou-se que os projetos P36, P34 e P13 tiveram pontuações no primeiro momento incorretas. O P34, por exemplo, é um projeto de implementação de análise preditiva por análise termográfica e que, ao fazer a primeira análise, não se detectou o ganho em propriedade comercial a longo prazo, perdendo colocações no método de análise de pontuação direta, como foi realizado.

O projeto P36 visava solução de ergonomia e redução de consumo de combustível, alterando o meio de transporte interno da área de almoxarifado. Em primeiro momento não foi considerado impacto em Segurança, Saúde e Meio Ambiente, no entanto após revisão do escopo detectou-se ganho maior no consumo anual de combustível e manutenção do veículo, bem como a possibilidade de se evitar afastamentos por problemas de ergonomia, que à princípio não

foram pontuados corretamente. Desta forma, na reanálise dos projetos já implementados, executando o segundo teste, essas diferenças foram evidenciadas.

Fazendo um comparativo das alternâncias de posição de alguns projetos entre o segundo e o terceiro teste, tem-se:

O terceiro teste teve um impacto maior no resultado com relação aos dois primeiros testes por causa da alteração dos critérios de escolha e respectivos pesos.

Esta alteração, entretanto, manteve os projetos P40, P50 e P20 entre os melhores classificados. Isso ocorre porque estes projetos tiveram resultados em todos os sete critérios na média ou acima da média.

Os projetos P12 e P26, que nos primeiros testes não aparecem entre os melhores colocados devido ao fato de não ter valores de propriedade comercial (retorno financeiro), foram no terceiro teste alavancados devido a alguns fatores:

O P12 não teve retorno financeiro, no entanto não teve custos para implementação, fato este que não foi considerado em primeiro momento. O projeto também não tinha problemas de escopo e não influenciava em entraves culturais na empresa. O projeto tratava-se de implementar planilhas de controle de recebimento e entregas no setor de almoxarifado, que após a finalização do projeto teve resultados imediatos e redução de desperdício com relação a ponto de pedidos, por exemplo.

O P26 teve retorno satisfatório com relação a atender mais pilares no critério “Ligação com a estratégia de negócios” com relação aos projetos P32, P44 e P22. O P26 é ligado a dois pilares da Estratégia de Negócios da empresa, enquanto os outros três atendem apenas a um dos quatro pilares. Este critério foi fundamental para a presença do P26 entre os melhores neste terceiro teste.

Os critérios utilizados pela empresa no primeiro teste visam exclusivamente o negócio da empresa e não contemplam os problemas e a criticidade dos projetos. Esta diferença entre os critérios teve grande influência nos resultados finais da análise, evidenciado neste comparativo dos testes primeiro e segundo.

Fazendo um comparativo das alternâncias de posição de alguns projetos entre o primeiro e o terceiro teste, tem-se:

Os três primeiros projetos na classificação permaneceram inalterados em ambos os testes. Isto se dá ao fato de que os três tiveram ao menos um dos critérios em cada teste com pontuação

máxima. Os projetos P40 e P50 tiveram no primeiro teste nota máxima em “propriedade comercial”, e o P20 no primeiro teste obteve nota máxima em “soluções criativas”. Estes três projetos, no terceiro teste, tiveram pontuação boa em “foco no cliente” e pontuação máxima em “ligação com a estratégia de negócio”, o que acarretou a escolha nesta terceira análise também.

A diferença entre os outros três projetos do primeiro teste, P32, P44, P22 que foram substituídos no terceiro teste, respectivamente, por P30, P12 e P26, foi relacionada às pontuações baixas que os três primeiros obtiveram em critérios que o primeiro teste não contemplo, tais como: problemas estruturais de causas desconhecidas, proporcionalidade com os recursos disponíveis, potencial término em curto período de tempo e problemas mensuráveis. Todos os critérios de seleção voltados ao problema a ser resolvido. Cabe ressaltar que os critérios utilizados pela empresa A no primeiro teste são totalmente voltados ao negócio da empresa e não avaliam a criticidade dos projetos, assim como foi notado na análise entre os testes segundo e terceiro.

Fazendo um comparativo das alternâncias de posição de alguns projetos entre o PROMETHEE e o ANP, tem-se:

Foi notável a dificuldade no *Super Decisions* (ANP) em comparar dados quantitativos, como é o caso do critério “Retorno Financeiro”. A maior diferença entre os resultados do PROMETHEE e ANP foi devido a esse critério. Retirando este critério de ambas as análises, o resultado fica bem próximo. A nível de exemplo, o P34, na posição 9 pela análise do PROMETHEE, fica 11 posições atrás, se comparado no ANP. Ao retirar o critério “Retorno Financeiro”, o P34 vai para a posição 23, bem próximo à posição 20 que este projeto se encontra pela análise do ANP. Isso mostra a diferença grande deste critério, se feita a comparação em dados quantitativos do PROMETHEE ao invés da escala de Saaty no ANP.

Entretanto, os outros critérios apresentaram pouca diferença entre os dois métodos de tomada de decisão multicritério distintos.

4.5.6 Comparação entre o resultado do PROMETHEE e a implementação dos projetos

Para verificar se os projetos priorizados pelo PROMETHEE foram de encontro aos resultados reais dos projetos implementados em 2016, foi entregue aos responsáveis pela área

de LSS um formulário para classificação dos projetos pós-implementados, com enfoque em retornos esperados (aderência ao escopo, que engloba os critérios “Ligação com a estratégia de negócios”, “Retorno financeiro”, “Problemas estruturais de causas desconhecidas”), atendimento aos prazos (que engloba o critério “Potencial término em curto período de tempo”) e mapeamento de problemas (que engloba os critérios “Problemas mensuráveis” e “Proporcionalidade com os recursos disponíveis”). Desta forma, foi criado o formulário mostrado no Anexo 2 e foi solicitado o preenchimento amostral dos 20 primeiros colocados do *ranking* gerado pelo programa.

O Quadro 8 mostra que a aderência do calculado pelo PROMETHEE com relação aos 20 primeiros colocados, foi de 95%, ou seja, dos 20 primeiros, apenas 1 projeto (P42) apresentou problemas durante a implementação ou após a implementação.

Quadro 8 – Resultados dos 20 primeiros projetos LSS de 2016 pelo ranking do PROMETHEE

Rank	Projeto	Retorno esperado	Atendimento aos prazos	Sem problemas não-mapeados
1	P40	Sim	Sim	Sim
2	P50	Sim	Sim	Sim
3	P20	Sim	Sim	Sim
4	P30	Sim	Sim	Sim
5	P12	Sim	Sim	Sim
6	P26	Sim	Sim	Sim
7	P06	Sim	Sim	Sim
8	P09	Sim	Sim	Sim
9	P34	Sim	Sim	Sim
10	P14	Sim	Sim	Sim
11	P17	Sim	Sim	Sim
12	P24	Sim	Sim	Sim
13	P42	Não	Sim	Não
14	P22	Sim	Sim	Sim
15	P23	Sim	Sim	Sim
16	P52	Sim	Sim	Sim
17	P29	Sim	Sim	Sim
18	P16	Sim	Sim	Sim
19	P35	Sim	Sim	Sim
20	P51	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor

Fazendo esta análise com os 20 últimos projetos, o resultado cai para 75%, ou seja, 25% dos projetos (P38, P47, P45, P37 e P04) não atenderam às expectativas em geral, conforme destacados no Quadro 9.

Estes resultados mostram que a utilização do PROMETHEE possuiu maior assertividade na escolha dos melhores projetos. O projeto P04, por exemplo, foi o quarto projeto implementado em 2016. Pela classificação do PROMETHEE ele não seria priorizado, ou seria o último projeto a ser implementado, com revisão no escopo e maior detalhamento dos prazos e retornos esperados, o que na prática não ocorreu.

Quadro 9 - Resultados dos 20 últimos projetos LSS de 2016 pelo ranking do PROMETHEE

Rank	Projeto	Retorno esperado	Atendimento aos prazos	Sem problemas não-mapeados
32	P05	Sim	Sim	Sim
33	P15	Sim	Sim	Sim
34	P38	Sim	Não	Sim
35	P43	Sim	Sim	Sim
36	P27	Sim	Sim	Sim
37	P44	Sim	Sim	Sim
38	P47	Sim	Sim	Não
39	P49	Sim	Sim	Sim
40	P03	Sim	Sim	Sim
41	P07	Sim	Sim	Sim
42	P31	Sim	Sim	Sim
43	P46	Sim	Sim	Sim
44	P48	Sim	Não	Sim
45	P25	Sim	Sim	Sim
46	P41	Sim	Sim	Sim
47	P45	Sim	Não	Sim
48	P28	Sim	Sim	Sim
49	P19	Sim	Sim	Sim
50	P37	Não	Sim	Sim
51	P18	Sim	Sim	Sim
52	P04	Sim	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.7 Comparação entre o resultado do ANP e a implementação dos projetos

Fazendo a mesma análise da Seção 4.6 do Capítulo 4 com o ANP, para avaliar a assertividade da seleção utilizando o ANP com os resultados reais dos projetos implementados em 2016, utilizou-se o mesmo formulário utilizado da Seção 4.6 do Capítulo 4, cujo modelo é mostrado no Anexo 2.

O Quadro 10 evidencia que a aderência da seleção no ANP com relação aos primeiros colocados foi de 90%, ou seja, dos 20 primeiros projetos que o método de auxílio à tomada de decisão calculou, apenas 2 projetos (P42 e P32) tiveram problemas durante ou após a implementação, resultado próximo ao obtido pelo PROMETHEE.

Quadro 10 – Resultados dos 20 primeiros projetos LSS de 2016 pelo ranking do ANP

<i>Rank</i>	<i>Projeto</i>	Retorno esperado	Atendimento aos prazos	Sem problemas não-mapeados
1	P20	Sim	Sim	Sim
2	P12	Sim	Sim	Sim
3	P40	Sim	Sim	Sim
4	P50	Sim	Sim	Sim
5	P06	Sim	Sim	Sim
6	P51	Sim	Sim	Sim
7	P30	Sim	Sim	Sim
8	P09	Sim	Sim	Sim
9	P17	Sim	Sim	Sim
10	P42	Sim	Sim	Sim
11	P33	Sim	Sim	Sim
12	P10	Sim	Sim	Sim
13	P52	Sim	Sim	Sim
14	P32	Não	Não	Sim
15	P02	Sim	Sim	Sim
16	P08	Sim	Sim	Sim
17	P44	Sim	Sim	Sim
18	P26	Sim	Sim	Sim
19	P24	Sim	Sim	Sim
20	P34	Sim	Sim	Sim

Fazendo esta análise com os 20 últimos projetos, desta vez com o ANP, o resultado cai para 75%, ou seja, 25% dos projetos (P37, P48, P47, P45 e P04) não atenderam às expectativas

em geral, conforme destacados no Quadro 11. O resultado para os 20 piores projetos da carta analisada foi o mesmo que o encontrado com o PROMETHEE.

Quadro 11 - Resultados dos 20 últimos projetos LSS de 2016 pelo ranking do ANP

Rank	Projeto	Retorno esperado	Atendimento aos prazos	Sem problemas não-mapeados
32	P39	Sim	Sim	Sim
33	P43	Sim	Sim	Sim
34	P31	Sim	Sim	Sim
35	P23	Sim	Sim	Sim
36	P25	Sim	Sim	Sim
37	P21	Sim	Sim	Sim
38	P27	Sim	Sim	Sim
39	P36	Sim	Sim	Sim
40	P41	Sim	Sim	Sim
41	P03	Sim	Sim	Sim
42	P01	Sim	Sim	Sim
43	P13	Sim	Sim	Sim
44	P19	Sim	Sim	Sim
45	P37	Não	Sim	Sim
46	P48	Sim	Não	Sim
47	P47	Sim	Sim	Não
48	P07	Sim	Sim	Sim
49	P45	Sim	Não	Sim
50	P28	Sim	Sim	Sim
51	P18	Sim	Sim	Sim
52	P04	Sim	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

Estes resultados mostram que a utilização do ANP possuiu eficácia na detecção dos melhores e dos piores projetos a serem implementados da carta avaliada.

O mapeamento dos piores projetos antes da implementação destes é válida, pois não há a necessidade, muitas vezes, de se descartar um pré-projeto em análise, e sim de melhorar a proposta, buscar outras alternativas, reduzir custos e definir melhor o escopo para que, em próxima seleção, este projeto esteja apto também para a implementação. Esta justificativa reduz a desmotivação das equipes envolvidas que não tiveram o projeto implementado.

4.6 APLICAÇÕES DOS MÉTODOS MCDM NA EMPRESA A – SEGUNDA ETAPA

Ao contrário da primeira etapa, onde foi realizada a modelagem em 52 projetos já implementados, a segunda etapa foi realizada para seleção de 27 projetos ainda não implementados, de forma a priorizar os projetos da carta já utilizando o PROMETHEE no auxílio à decisão, tendo em vista a assertividade dos resultados encontrados na primeira etapa da modelagem.

Esta segunda etapa é relacionada aos itens 4 e 5 (solução do modelo e implementação, respectivamente), contidos na Figura 4, Seção 5 do Capítulo 1 deste trabalho, mostrados no fluxograma da Figura 20.

Após a coleta de dados da primeira etapa, é realizada nesta segunda etapa a definição do projeto piloto, a execução do modelo e a implementação da solução, com uma análise final dos resultados, tendo como próximos passos o planejamento das ações e construção do *roadmap* para a implementação.

O Quadro 12 mostra os testes realizados na primeira etapa, seus objetivos e resultados esperados.

Quadro 12 – Segunda etapa da aplicação do método

2ª Etapa da aplicação do método - Carta de projetos de 2017 ainda não implementados			
Nº	Teste	Objetivo	Resultados esperados
5º	Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios da empresa	Avaliar a diferença entre a seleção pela planilha e utilizando método MCDM	Comparar o uso de planilha com relação ao uso de método MCDM
6º	Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios baseado em fatores críticos	Classificar projetos LSS com critérios propostos utilizando método MCDM PROMETHEE	Avaliar as vantagens e desvantagens de utilizar método MCDM para classificar projetos Lean Six Sigma
7º	Utilizando método multicritério ANP com critérios baseado em fatores críticos	Classificar projetos LSS com critérios propostos utilizando método MCDM ANP	Avaliar as vantagens e desvantagens de utilizar método MCDM para classificar projetos Lean Six Sigma, comparar o PROMETHEE com o ANP para esta aplicação.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.6.1 Quinto teste: Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios da empresa

O quinto teste possui os mesmos parâmetros de seleção do segundo teste da primeira etapa, Seção 4.2 do Capítulo 4. O primeiro teste não foi repetido na segunda etapa, haja visto que esta segunda etapa já se iniciou utilizando o PROMETHEE na seleção de projetos. Os resultados seguem na Tabela 12.

Tabela 12 - Seleção de projetos LSS de 2017 utilizando o PROMETHEE, com base nos critérios de seleção da empresa

Rank	Projeto	Phi	Phi+	Phi-
1	P17	0,4346	0,5885	0,1538
2	P21	0,3519	0,4808	0,1288
3	P11	0,2596	0,4192	0,1596
4	P22	0,1904	0,3731	0,1827
5	P03	0,1712	0,4077	0,2365
6	P09	0,1442	0,3577	0,2135
7	P26	0,1212	0,3538	0,2327
8	P10	0,1212	0,3269	0,2058
9	P01	0,0981	0,3423	0,2442
10	P24	0,0962	0,3269	0,2308
11	P16	0,0596	0,3192	0,2596
12	P14	0,0462	0,3519	0,3058
13	P12	0,0442	0,2808	0,2365
14	P04	0,0173	0,2923	0,275
15	P05	-0,0308	0,2942	0,325
16	P02	-0,0558	0,2115	0,2673
17	P25	-0,1019	0,1962	0,2981
18	P13	-0,1173	0,2673	0,3846
19	P23	-0,1308	0,2096	0,3404
20	P27	-0,1538	0,1788	0,3327
21	P20	-0,1558	0,1962	0,3519
22	P07	-0,1692	0,1942	0,3635
23	P19	-0,1846	0,1942	0,3788
24	P18	-0,2173	0,1423	0,3596
25	P15	-0,2404	0,1846	0,425
26	P08	-0,2769	0,1327	0,4096
27	P06	-0,3212	0,1077	0,4288

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.6.2 Sexto teste: Utilizando método multicritério PROMETHEE com critérios baseado em fatores críticos

O sexto teste possui os mesmos parâmetros de seleção do terceiro teste da primeira etapa, Seção 4.3 do Capítulo 4. Este teste utiliza os critérios desenvolvidos neste trabalho para a seleção e foi utilizado pela Empresa A para a priorização dos 27 projetos de 2017, antes da implementação. Os resultados estão mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Seleção de projetos LSS de 2017 utilizando o PROMETHEE, com base nos critérios de seleção com enfoque em fatores críticos

Rank	Projeto	Phi	Phi+	Phi-
1	P17	0,4427	0,6254	0,1827
2	P25	0,3453	0,5232	0,1778
3	P03	0,2397	0,4033	0,1636
4	P21	0,2134	0,3869	0,1735
5	P02	0,1798	0,3535	0,1736
6	P12	0,1658	0,3739	0,2082
7	P16	0,1635	0,3452	0,1817
8	P24	0,1294	0,3685	0,2391
9	P09	0,0835	0,3617	0,2782
10	P27	0,0779	0,3376	0,2596
11	P15	0,0773	0,3047	0,2274
12	P26	0,0744	0,3003	0,2259
13	P08	0,0597	0,3183	0,2587
14	P10	-0,0101	0,235	0,245
15	P18	-0,0184	0,2569	0,2753
16	P19	-0,0578	0,2568	0,3146
17	P20	-0,075	0,226	0,301
18	P11	-0,1108	0,2194	0,3302
19	P05	-0,1652	0,206	0,3712
20	P04	-0,1803	0,2175	0,3978
21	P22	-0,2047	0,141	0,3458
22	P23	-0,2051	0,1379	0,3429
23	P06	-0,2057	0,1376	0,3433
24	P01	-0,2122	0,1371	0,3493
25	P13	-0,2508	0,1346	0,3854
26	P14	-0,3171	0,1098	0,4269
27	P07	-0,3508	0,0846	0,4354

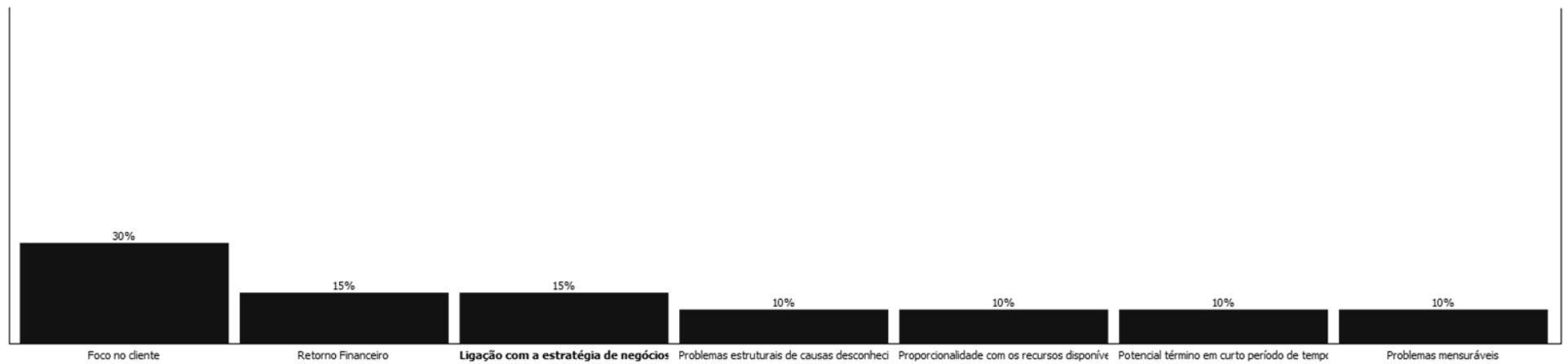
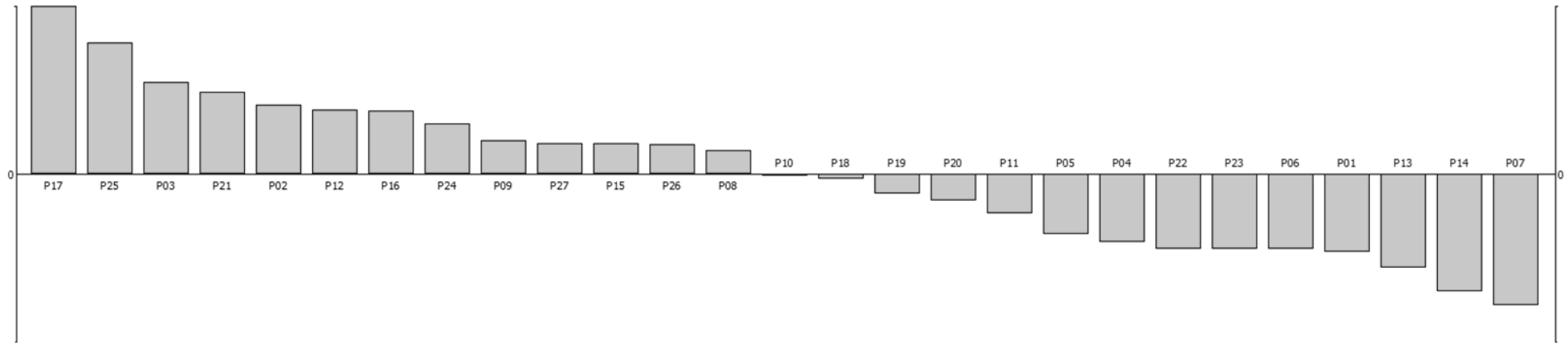
Fonte: Elaborado pelo Autor

Da mesma forma dos primeiros testes, o PROMETHEE fornece por meio do *Visual PROMETHEE* os gráficos com os resultados e a possibilidade de alterar os pesos dos critérios e visualizar estes resultados, com enfoque diferente do proposto.

No cenário com os pesos adotados para cada critério, a ordem dos projetos em formato de gráfico segue no Figura 23.

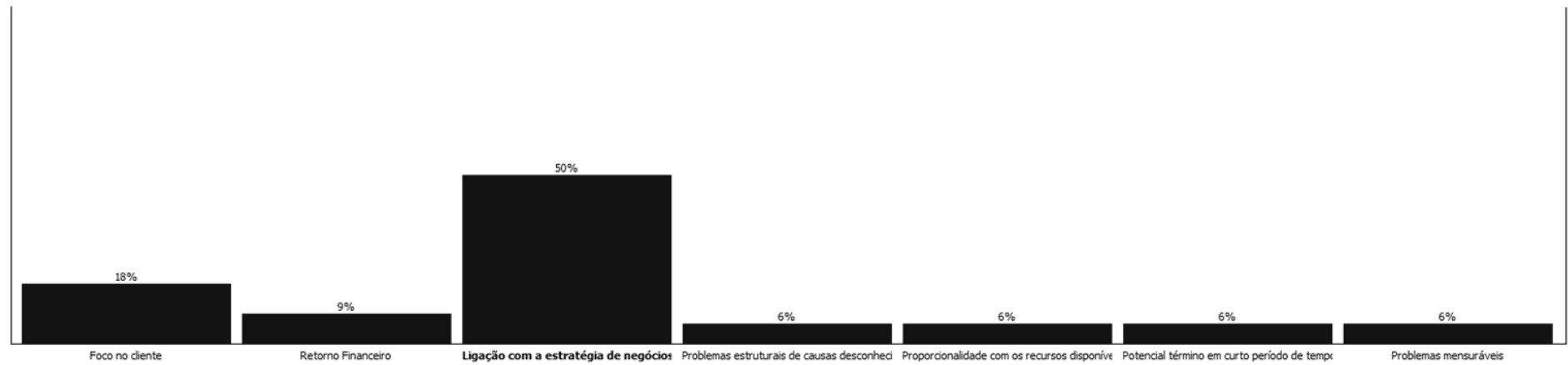
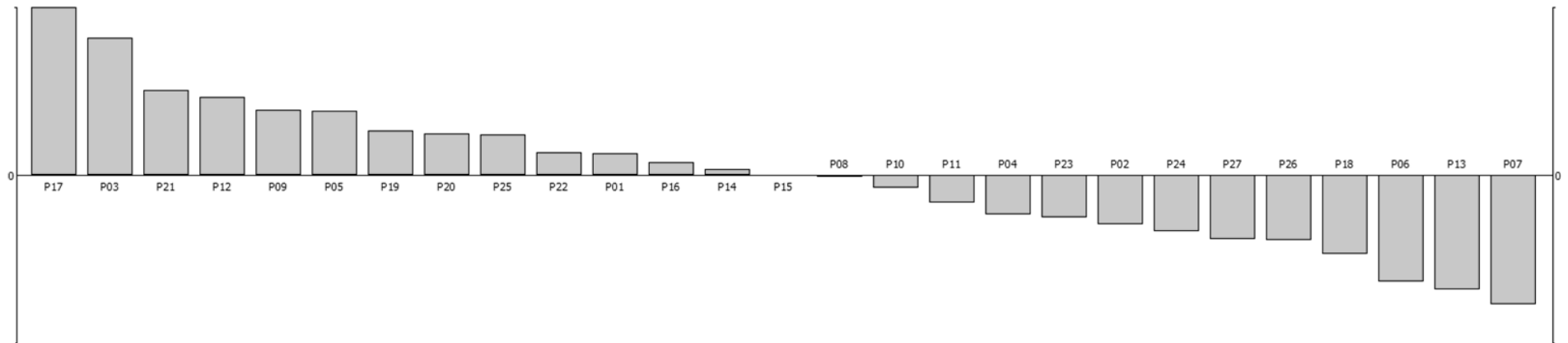
Utilizando novamente o recurso do *walking weights*, assim como na Seção 5.3 do Capítulo 4, a Empresa A realizou uma premiação aos três melhores projetos que tiveram enfoque nos pilares da empresa, ou seja, o critério “Ligação com a Estratégia de Negócios”. Desta forma, utilizando este critério como o de maior peso, pôde-se obter o resultado do Figura 24.

Figura 23 - Resultados dos projetos na Empresa A em 2017



Fonte: Gerado pelo Programa Visual PROMETHEE

Figura 24 - Resultados dos projetos na Empresa A em 2017 – ponderando “Ligação com a estratégia de negócios” com 50%



Fonte: Gerado pelo Programa Visual PROMETHEE

4.6.3 Sétimo teste: Utilizando método multicritério ANP com critérios baseado em fatores críticos

O sétimo e último teste possui os mesmos parâmetros de seleção do quarto teste da primeira etapa, Seção 4.4 do Capítulo 4. Este teste utiliza os critérios desenvolvidos neste trabalho para a seleção e foi utilizado pela Empresa A para a priorização dos 27 projetos de 2017, antes da implementação, só que utilizando o ANP para efeito comparativo ao PROMETHEE, da Seção 5.2 do Capítulo 4.

A Tabela 14 mostra o resultado feito por meio do método de tomada de decisão multicritério ANP.

Tabela 14 - Seleção de projetos LSS de 2017 utilizando o ANP, com base nos critérios de seleção com enfoque em fatores críticos

Projeto	Ideals	Normals	Raw
P17	1,000000	0,071415	0,071415
P25	0,862123	0,061568	0,061568
P27	0,789387	0,056374	0,056374
P24	0,705168	0,050359	0,050359
P03	0,687464	0,049095	0,049095
P10	0,624630	0,044608	0,044608
P09	0,594078	0,042426	0,042426
P21	0,580698	0,041470	0,041470
P02	0,577433	0,041237	0,041237
P12	0,558141	0,039860	0,039860
P11	0,523644	0,037396	0,037396
P15	0,502663	0,035898	0,035898
P16	0,482619	0,034466	0,034466
P18	0,482619	0,034466	0,034466
P26	0,482619	0,034466	0,034466
P13	0,470432	0,033596	0,033596
P19	0,460820	0,032909	0,032909
P20	0,422154	0,030148	0,030148
P08	0,420725	0,030046	0,030046
P05	0,408785	0,029193	0,029193
P06	0,375618	0,026825	0,026825
P07	0,375618	0,026825	0,026825
P23	0,353812	0,025267	0,025267
P04	0,345955	0,024706	0,024706
P01	0,343448	0,024527	0,024527
P22	0,343448	0,024527	0,024527
P14	0,228590	0,016325	0,016325

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.6.4 Análise dos resultados encontrados na segunda etapa

Com relação aos três testes realizados com os dados de 2017, cabe ressaltar novamente que os todos foram realizados com dados coletados pelo comitê de análise, um grupo com cinco participantes que fizeram as ponderações baseadas nos resultados reais dos projetos do ano vigente que, posteriormente, foram inseridos no programa para a geração dos resultados. Isto foi proposto pois o comitê de análise é detentor de capacidade técnica para classificação dos projetos de acordo com os critérios estabelecidos, tanto pela própria Empresa A quanto pelos critérios propostos neste trabalho.

Neste tópico foram feitas três análises comparativas referentes às divergências nos resultados dos três testes.

Fazendo um comparativo das alternâncias de posição de alguns projetos entre o quinto e o sexto teste, tem-se:

Nos três testes, o projeto P17 obteve a primeira colocação, impulsionado por atender os três critérios de maior peso: cliente, retorno financeiro e estratégia de negócios.

Assim como foi analisado na Seção 4.5 do Capítulo 4, os critérios utilizados pela empresa no quinto teste visam exclusivamente o negócio da empresa e não contemplam os problemas e a criticidade dos projetos. Os critérios da empresa, além disso, também não contemplam os valores de “Retorno Financeiro” de forma bruta, e dois projetos, como por exemplo o P27 (retorno financeiro de R\$490.366,67) e o P21 (retorno financeiro de R\$29.149,00) possuem o mesmo peso nos critérios de classificação tradicionais da Empresa A (se encaixa na alternativa “Acima de 10k BRL).

Também com relação ao método de análise da Empresa A, o atendimento à estratégia de negócios também só contempla dois pilares no máximo: “Segurança” e “Trabalhamos Juntos”; não contemplando os outros dois pilares: “Comprometimento com a Sociedade” e “Comprometimento com a Qualidade e Excelência”.

Desta forma, a utilização do PROMETHEE, com análise de mais critérios, contemplando fatores críticos, mostrou-se mais coerente, como foi visto nos projetos de 2016, gerando maior confiabilidade em utilizar estes dados priorizados pelo método MCDM antes da implementação.

Fazendo um comparativo das alternâncias de posição de alguns projetos entre o sexto (utilizando PROMETHEE) e o sétimo (utilizando ANP) teste, tem-se:

Da mesma forma, como mencionado na Seção 4.5 do Capítulo 4, houve novamente a dificuldade em comparar os dados qualitativos em valor bruto no *Super Decisions* (ANP) no caso do critério “Retorno Financeiro”. A diferença se trata de utilizar a escala de Saaty para ponderar a diferença entre os valores ao invés dos dados brutos, como utilizado no PROMETHEE, e isso é uma facilidade que o programa *Visual PROMETHEE*, escolhido para esta análise, possui.

Da mesma forma que na Seção 4.5 do Capítulo 4, os outros critérios apresentaram pouca diferença entre os dois métodos de tomada de decisão multicritério distintos.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS

Esse trabalho apresentou uma análise sobre tomada de decisão, conceituando os métodos de tomada de decisão multicritério, com embasamento em onze métodos multicritério de apoio à decisão, dentre os mais utilizados e consagrados. Tal análise serviu de alicerce para a utilização destes conceitos em seleção e classificação de projetos *Lean Six Sigma*, tomando como base os fatores críticos de sucesso e de fracasso mais frequentemente encontrados.

Quanto à questão de pesquisa, conclui-se que, com a aplicação dos métodos de tomada de decisão multicritério para a seleção de projetos, há a classificação nas melhores posições aqueles projetos que são os mais adequados para os valores da empresa e dos setores envolvidos, bem como voltados ao planejamento estratégico de negócios; em contrapartida, os classificados na faixa inferior são aqueles que tem menor envolvimento com os valores e planejamento estratégico, tanto da empresa como dos setores.

Desta forma, a utilização dos métodos MCDM auxiliam às equipes responsáveis pela seleção de projetos LSS a escolherem aqueles projetos voltados ao planejamento estratégico e valores da empresa.

5.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS

Quanto ao objetivo principal, foi proposto o método para escolha de projetos *Lean Six Sigma*, que se baseou em fatores críticos de sucesso e fracasso pesquisados no referencial teórico, sendo esta pesquisa um dos objetivos específicos. A aplicação do método proposto apresentou resultado de 95% de assertividade na escolha dos melhores projetos do portfólio estudado na Empresa A utilizando o PROMETHEE, e 90% utilizando o ANP. Foram analisadas as seleções de projetos convencionais, elaboradas principalmente por meio da experiência de comitês de análise da área de *Lean Six Sigma* e quais seriam as vantagens e desvantagens de utilizar um método de auxílio à tomada de decisão para esta finalidade.

Também para efeito de análise, ambos os métodos MCDM tiveram resultados coerentes ao analisar a parte inferior da Tabela de classificação de projeto: a porcentagem de projetos que

não obtiveram resultados satisfatórios nos últimos 20 projetos da classificação geral foi de 25%, ou seja, uma redução considerável se comparar aos 5 e 10% de projetos com problemas dentre os vinte primeiros projetos da classificação geral, respectivamente, utilizando PROMETHEE e ANP

Quanto aos outros objetivos específicos, a pesquisa fez abrangência em onze métodos de tomada de decisão, dentre os quais tinham a possibilidade de aplicação para a pesquisa proposta de seleção de projetos. Após realizada a pesquisa, foram selecionados dois métodos de tomada de decisão multicritério de escolas diferentes: o PROMETHEE da escola europeia e o ANP, da escola americana. A finalidade da escolha entre dois métodos de tomada de decisão distintos foi de compará-los e avaliar as vantagens e desvantagens de ambos em uma aplicação prática de seleção de projetos *Lean Six Sigma*.

5.2 CONCLUSÕES

As duas etapas de aplicação do método, a primeira com os projetos LSS implementados em 2016, e a segunda com os projetos LSS a serem implementados

A primeira etapa teve como proposta avaliar as vantagens e desvantagens de utilizar os métodos multicritério de tomada de decisão para auxiliar na priorização dos projetos e compará-los com os resultados obtidos após a implementação, sendo que a seleção e priorização por meio do método MCDM tiveram valores finais que evidenciaram a realidade dos projetos implementados, ou seja, priorizou àqueles que geraram melhores retornos à empresa, como mostrado na Seção 4.5 do Capítulo 4, análise realizada utilizando o PROMETHEE e, na Seção 4.7 do Capítulo 4, utilizando o ANP.

Os *softwares* utilizados para auxílio a decisão foram: Visual PROMETHEE que utiliza o método MCDM PROMETHEE, e o *Super Decisions*, que utiliza o método MCDM ANP.

Os fatores críticos de sucesso e de fracasso para a implementação de projetos na empresa, resumidos em: foco no cliente, ligação com a estratégia do negócio, retorno financeiro, problemas na estruturação do projeto, proporcionalidade com os recursos disponíveis, potencial de término em curto período de tempo, e problemas mensuráveis, englobam fatores correlacionados ao problema a ser resolvido e aos entraves para a implementação e acompanhamento do projeto, inclusive após a implementação. Os quatro últimos critérios, com

enfoque no problema a ser resolvido e na melhor caracterização dos projetos, foi o principal objetivo da Empresa A em aceitar a aplicação da pesquisa utilizando seus dados e portfólio de projetos, porque como evidenciado neste trabalho, o método de avaliações dos critérios convencional da empresa apenas visava os resultados potenciais (principalmente voltados a redução de custos) e todos os projetos da carta, inclusive aqueles com problemas no escopo, eram implementados sem nenhum retorno prévio da seleção aos decisores.

Este trabalho também mostra a importância em se mapear os piores projetos antes da implementação, de forma que todas as ideias possuem valor. Dessa forma, um projeto não selecionado e priorizado, deixado em análise, pode ter sua proposta, com a busca de outras alternativas, redução dos custos para implementação e definição melhor do escopo para que esses projetos estejam aptos na próxima seleção. Tal então a importância de analisar com o método multicritério a influência de cada critério na decisão de uma alternativa específica, pois assim é possível reavaliar o projeto e decidir pela sua correção ou pelo cancelamento. Esta justificativa reduz a desmotivação das equipes envolvidas que não tiveram o projeto implementado.

Verificou-se que o modelo de priorização proposto possuiu retornos esperados ao cumprir os objetivos da pesquisa e evidenciou que a análise convencional omitia resultados estratégicos à empresa que muitas vezes não possuem enfoque ou mesmo priorizados pela alta administração, sem os devidos estudos de assertividade.

Este estudo conclui que ao utilizar métodos de auxílio à tomada de decisão na seleção de projetos, especificamente aos projetos de *Lean Six Sigma*, as tendências subjetivas são reduzidas, ora porque é necessário maior aprofundamento na análise do escopo e pré-projeto, ora porque ao evidenciar à alta administração que a escolha com os métodos MCDM é assertiva, isso provê maior independência às lideranças de chão de fábrica em gerenciar seus projetos com a equipe responsável por melhorias.

Com relação aos dois métodos MCDM utilizados, o PROMETHEE mostrou-se superior para esta aplicação com relação ao ANP, pois este segundo, por utilizar apenas a Tabela de classificação de Saaty (comparação par-a-par com pesos de 1 a 9), torna a decisão mais difícil aos especialistas, que muitas vezes não consegue mensurar com os pesos da escala; por fim o ANP tende a não convencer a escolha por este motivo e não possui também suporte à incerteza. Contudo, ainda sim se mostra superior à decisão individual de cada especialista.

Outra vantagem encontrada neste trabalho para o uso do PROMETHEE foi com relação ao programa Visual PROMETHEE, que tem interface fácil de utilizar e que gera relatórios com Gráficos e Tabelas comparativas. Cabe ressaltar também que o programa permite alterar os pesos dos critérios, caso seja necessário, o que pode ser utilizado sempre que houver alterações estratégicas na empresa, ou mesmo como critério de desempate entre dois projetos.

O Super Decisions que utiliza o ANP tem a vantagem de ser gratuito para utilização na empresa. A interface, no entanto, é menos intuitiva que o PROMETHEE e o relatório final não possui gráficos, bem como não tem a possibilidade de alterar os pesos dos critérios com a facilidade que o Visual PROMETHEE tem como característica.

A utilização de métodos de auxílio à tomada de decisão multicritério possui pesquisa acadêmica de maior enfoque nas áreas de *Supply Chain*, por exemplo em seleção de fornecedores e equipamentos, e de Recursos Humanos, por exemplo para escolha de candidatos. Entretanto, tem como prover também suporte à tomada de decisão em seleção de projetos em geral, não somente naqueles com enfoque em *Lean Six Sigma*. Os métodos MCDM utilizados, PROMETHEE e ANP, como possuem *software* para a utilização, facilitam a customização para outras soluções e outros tipos de projeto, tendo apenas que redefinir os critérios de comparação.

5.3 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Coloca-se duas sugestões para futuras pesquisas:

- Estudar o fator de influência da alta administração na escolha de projetos LSS.
- Estudar o fator de influência da falta de treinamento e capacitação das equipes de trabalho na implementação de projetos LSS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASE, G. R.; OLSON, J. R.; SCHNIDERJANS, M. J. *U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study. **European Journal of Operational Research***, v. 156, p. 698-711, 2004.

ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. *Analyzing the benefits of Lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **International Journal of Production Economics***, v. 107, p. 223-236, 2007.

ABOELMAGED, M. G. *Reconstructing Six Sigma barriers in manufacturing and service organizations. **International Journal of Quality & Reliability Management***, v. 28,

ACHANGA, P. et al. *Critical Success factors for Lean implementation within SMEs. **Journal of Manufacturing Technology Management***, v. 17, n. 4, p. 460-471, 2006.

AL-AOMAR, R. *A Lean construction framework with Six Sigma rating. **International journal of Lean Six Sigma***, v. 3, n. 4, p. 299-314, 2012.

ALLEN, M. *Thinking Lean in Compound Management Laboratories. **Management of Chemical and Biological Samples for Screening Applications***, v. 1, p. 83-105, 2012.

ALLEN, T. T.; TSENG, S. -H.; SWANSON, K.; MCCLAY, M. A. *Improving the hospital discharge process with Six sigma methods. **Quality Engineering***, v. 22, p. 13-20, 2010.

ÁLVAREZ, R.; CALVO, R.; PEÑA, M. M.; DOMINGO, R. *Redesigning an assembly line through Lean manufacturing tools. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, v. 43, p. 949-958, 2009.

ALVES, T. D. C. L.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. *Value stream mapping for make-to-order products in a job shop environment. **Construction Research Congress 2005: Broadening Perspectives - Proceedings of the Congress***, p. 13-22, 2005.

AMARAL, T. M.; COSTA, A. P. C. *Improving decision-making and management of hospital resources: An application of the PROMETHEE II method in an Emergency Department. **Operations research for health care***, v. 3, p. 1-6, 2014.

ANAGUN, A.S. *A neural network applied to pattern recognition in statistical process control. **Computers and Industrial Engineering***, v. 35, p. 185-188, 1998.

ANDERSON-COOK, C.M.; LU, L.; CLARK, G.; DEHART, S. P.; HOERL, R.; JONES, B.; MACKAY, R. J.; MONTGOMERY, D.; PARKER, P. A.; SIMPSON, J.; SNEE, R.; STEINER, S. H.; VAN MULLEKOM, J.; VINING, G. G.; WILSON, A. G. *Statistical engineering-forming the foundations. **Quality Engineering***, v. 24, p. 110-132, 2012.

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

ANTONY, J.; ANTONY, F. J.; KUMAR, M.; CHO, B. R. *Six sigma in service organisations, International Journal of Quality & Reliability Management*, V 24, Iss 3, pp. 294-311, 2007.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência – filosofia e prática da pesquisa**. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.

ARABIAN-HOSEYNABADI, H.; ORAEE, H.; TAVNER, P. J. *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for wind turbines. International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, v. 32, p. 817-824, 2010.

ARULDOSS, M.; LAKSHMI, M. T.; VENKATESAN, V. P. *A Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications. American Journal of Information Systems*, v. 1, N. 1, 31-43, 2013.

ARVANITTOYANNIS, I. S.; VARZAKAS, T. H.; TZIFA, K.; PAPADOPOULOS, D. *Eggs. HACCP and ISO 22000: Application to Foods of Animal Origin*, p. 309-359, 2009.

ARVANITTOYANNIS, I. S.; VARZAKAS, T. H. *Application of ISO 22000 and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for industrial processing of salmon: A case study. Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 48, p. 411-429, 2008.

ARVANITTOYANNIS, I. S.; VARZAKAS, T. H. *Application of failure mode and effect analysis (FMEA) and cause and effect analysis in conjunction with ISO 22000 to a snails (Helix aspersa) processing plant; A case study. Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 49, p. 607-625, 2009.

ASAN, E.; BILGEN, S. *Improving agility by knowledge driven and collaborative system of systems engineering: A case study. International Journal of System of Systems Engineering*, v. 6, p. 186-220, 2015.

ASSARLIND, M.; AABOEN, L. *Forces affecting one Lean Six Sigma adoption process, International Journal of Lean Six Sigma*, v. 5, n. 3, pp.324-340, 2014.

AYOP, N. H. Z. *A Goal Programming Approach for Food Product Distribution of Small and Medium Enterprises. Advances in Environmental Biology*, v. 6, n. 2, p. 510-513, ISSN 1995-0756, 2012.

AZIZ, R. F.; HAFEZ, S. M. *Applying Lean thinking in construction and performance improvement. Alexandria engineering journal*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2013.04.008>. Acesso em: 22 Jul. 2014.

BAI, A.; XIA, P.; ZENG, L. *A Lean manufacturing implementation strategy and its model for numerical control job shop under single-piece and small-batch production environment. Moving Integrated Product Development to Service Clouds in the Global Economy - Proceedings of the 21st ISPE Inc. International Conference on Concurrent Engineering*, CE 2014, p. 287-296, 2014.

BALLARD, G. *Construction: One type of project production system. 13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings*, p. 29-35, 2005.

BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J.-M.; VANSNICK, J.-C. **MACBETH**. *LSE OR Working Paper* 03.56. ISBN 0 7530 1520 X, 2003.

BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J.-M.; VANSNICK, J.-C. **MACBETH** (*Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique*). *Wiley Encyclopedia in Operational Research and Management Science*, V. 4, p. 2945-2950, 2010.

BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J.-M.; VANSNICK, J.-C. **MACBETH**. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 11, 359-387, 2012.

BANA E COSTA, C. A.; ÂNGULO-MEZA, L.; OLIVEIRA, M. D. O método MACBETH e aplicação no Brasil. *ENGEVISTA*, V. 15, n. 1. p. 3-27, abril 2013.

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J.-C. *A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP*. *European Journal of Operational Research*, v. 187, n. 3, p. 1422–1428, 2008.

BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. *PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications*. *European Journal of Operational Research*, 2010.

BENDATO, I.; CASSETTARI, L.; MOSCA, R.; ROLANDO, F. *Improving the efficiency of a hospital ED according to Lean management principles through system dynamics and discrete event simulation combined with quantitative methods*. *Communications in Computer and Information Science*, v. 532, p. 555-572, 2015.

BEN-DAYA, M.; RAOUF, A. *Inventory models involving lead time as a decision variable*. *Journal of the Operational Research Society*, v. 45, p. 579-582, 1994.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C.; *Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling*. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p.241-264, 2002.

BESSERIS, G. J. *Applying the DOE toolkit on a Lean-and-green Six Sigma maritime-operation improvement project*. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 2, p. 270-284, 2011.

BESSERIS, G. J.; KREMMYDAS, A. T. *Concurrent multi-response optimization of austenitic stainless steel surface roughness driven by embedded Lean and green indicators*. *Journal of Cleaner Production*, v. 85, p. 293-305, 2014.

BHAMU, J.; KHANDELWAL, A.; SANGWAN, K. S. *Lean manufacturing implementation in an automated production line: A case study*. *International Journal of Services and Operations Management*, v. 15, p. 411-429, 2013.

BHANUMURTHY, M. V. *Profitability through Lean Six Sigma: Save energy - Save environment*. *AICHE Annual Meeting, Conference Proceedings*, 2012.

BHASIN, S. *Performance of Lean in large organizations*. *Journal of Manufacturing systems*, v.31, n.3, p. 349-357, Jul. 2012.

BHULLAR, A. S.; GAN, C. W.; LIM, R. Y. G.; TOH, M. H.; MA, B. *Development of OmniPlusTM methodology for sustaining continuous improvements. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, v. 2016-January, p. 1227-1231, 2016.

BILLINTON, R.; WANG, P. *Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution*, v. 145, p. 149-153, 1998.

BING, J.; CHANG, T. -Q.; BING, L. *The reform of armored equipment maintenance based on Lean Six sigma. 2010 International Conference on Future Information Technology and Management Engineering, FITME 2010*, v. 3, p. 423-426, 2010.

BOHNEN, F.; BUHL, M.; DEUSE, J. *Systematic procedure for leveling of low volume and high mix production. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, v. 6, p. 53-58, 2013.

BON, A. T.; RAHMAN, N. A. *Quality measurement in Lean manufacturing. International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering, ICICI-BME*, 2009.

BOTTANI, E.; RIZZI, A. *Strategic management of logistics service: A fuzzy QFD approach. International Journal of Production Economics*, v. 103, p. 585-599, 2006.

BOZER, Y. A.; CIEMNOCZOŁOWSKI, D. D. *Performance evaluation of small-batch container delivery systems used in Lean manufacturing - Part 1: System stability and distribution of container starts. International Journal of Production Research*, v. 51, p. 555-567, 2013.

BRACARENSE, J. C.; SANTOS, C. V.; MAYERLE, S. F. Tomada de decisão sob condições de risco e incerteza: uma aplicação da lógica fuzzy à bovinocultura de corte da região Serrana de Santa Catarina. *Teoria e evidência econômica*, ano 19, n. 41, p 73-101, 2013.

BRADY, J. *Systems engineering and cost as an independent variable. Systems Engineering*, v. 4, p. 233-241, 2001.

BRAGANÇA, S.; COSTA, E. *An application of the Lean production tool standard work. Jurnal Teknologi*, v. 76, p. 47-53, 2015.

BRAGLIA, M.; CARMIGNANI, G.; ZAMMORI, F. *A new value stream mapping approach for complex production systems. International Journal of Production Research*, v. 44, p. 3929-3952, 2006.

BRAZ, J. M. B. P. O MACBETH como ferramenta MCDA para o Benchmarking de Aeroportos. Universidade da Beira Interior, 2011.

BROWN, T. *Design thinking, Harvard Business Review*. v. 86, 2008.

BRUN, A. *Critical success factors of Six Sigma implementations in Italian companies. International Journal of Production Economics*, v. 131, n. 1, p. 158–164, 2011.

BUHL, M.; BOHNEN, F.; DEUSE, J.; SCHNEIDER, R. *Systematic approach for production levelling in low volume and high mix production [Effiziente kleinserienfertigung durch produktionsnivellierung]. Productivity Management*, v. 14, p. 19-22, 2009.

BULHÕES, I. R.; PICCHI, F. A. *Continuous flow for structural design in prefabricated concrete structures. Proceedings of IGLC16: 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, p. 169-181, 2008.

BULHÓES, I. R.; PICCHI, F. A.; FOLCH, A. T. *Actions to implement continuous flow in the assembly of pre-fabricated concrete structure. Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice - 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-14*, p. 407-419, 2006.

BURCHER, P.; DUPERNEX, S.; RELPH, G. *The road to Lean repetitive batch manufacturing: Modelling planning system performance. International Journal of Operations and Production Management*, v. 16, p. 210-220, 1996.

BÜYÜKÖZKAN, G.; ÖZTÜRCAN, D. *An integrated analytic approach for Six Sigma project selection. Expert systems with applications*, v.37, n.8, p.5835-5847, Aug. 2010.

BYRNE, G.; LUBOWE, D., BLITZ, A. *Using a Lean Six Sigma approach to drive innovation. Strategies & Leadership*. 35 (2), 5e10, ISSN: 1087-8572, 2007.

CABALLERO, R. et al. *Interactive meta-goal programming. European Journal of Operational Research*, v. 175, n. 1, p. 135–154, 2006.

CABANILLAS, J.; GINABREDA, A.; GUILLÉN, D.; MARTÍNEZ, E.; BARCELÓ, D.; MORAGAS, L.; ROBUSTÉ, J.; DABRA, R. M. *Fuzzy logic based risk assessment of effluents from waste-water treatment plants. Science of the Total Environment*, v. 439, p. 202–210, 2012.

CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. C. *Review, analysis and classification of the literature on QFD-Types of research, difficulties and benefits. International Journal of Production Economics*, v. 114, p. 737-754, 2008.

CARVALHO, M.; RABECHINI, R. **Construindo Competências para Gerenciar Projetos: Teoria e Casos**. 1. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2006. 317p.

CELLIS, O. L. M.; GARCÍA, J. M. S. *Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six. Estudios gerenciales*, v.28, n.124, p.23-43, 2012.

CHABUKSWAR, A. R. et al. *Six Sigma: Process of Understanding the Control and Capability of Ranitidine Hydrochloride Tablet. Journal of Young Pharmacists*, v. 3, n. 1, p. 15–25, 2011.

CHANG, C. T. *Muti-choice goal programming with utility application. European Journal of Operational Research*, v.123, p. 652–659, 2011.

CHATTOPADHYAY, M.; CHATTOPADHYAY, S.; DAN, P. K. *Machine-part cell formation through visual decipherable clustering of self-organizing map. International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 52, p. 1019-1030, 2011.

CHAUDHURI, D.; MUKHOPADHYAY, A. R.; GHOSH, S. K. *Assessment of engineering colleges through application of the Six Sigma metrics in a State of India. International Journal of Quality and Reliability Management*, v. 28, p. 969-1002, 2011.

CHEN, C. C.; ZHANG, Q. *Applying quality function deployment techniques in lead production project selection and assignment. Advanced Materials Research*, v. 945-949, p. 2954-2959, 2014.

CHEN, F.; DREZNER, Z.; RYAN, J. K.; SIMCHI-LEVI, D. *Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information. Management Science*, v. 46, p. 436-443, 2000.

CHEN, J. C.; LI, Y.; SHADY, B. D. *From value stream mapping toward a Lean/sigma continuous improvement process: An industrial case study. International Journal of Production Research*, v. 48, p. 1069-1086, 2010.

CHEN, J.C., BRAHMA, A. R. B. *Taguchi-based Six Sigma defect reduction of green sand casting process: An industrial case study. Journal of Enterprise Transformation*, v. 4, p. 172-188, 2014.

CHEN, L. -H.; WENG, M. -C. *An evaluation approach to engineering design in QFD processes using fuzzy goal programming models. European Journal of Operational Research*, v. 172, p. 230-248, 2006.

CHIANG, Y-M; CHEN, W-L; HO, C-H. *Application of analytic network process and two-dimensional matrix evaluating decision for design strategy. Computers & Industrial Engineering*, v. 98, p. 237-245, 2016.

CHO, K. T. *Multicriteria decision methods: an attempt to evaluate and unify. Mathematical and computer modelling*, 37(9): 1099-1119, 2003

CIEMNOCZOŁOWSKI, D. D.; BOZER, Y. A. *Performance evaluation of small-batch container delivery systems used in Lean manufacturing - Part 2: Number of Kanban and workstation starvation. International Journal of Production Research*, v. 51, p. 568-581, 2013.

CLIVILLÈ, V.; BERRAH, L.; MAURIS, G. *Deploying the ELECTRE III and MACBETH multicriteria ranking methods for SMEs tactical performance improvements. Journal of Modelling in Management*, v. 8, n. 3, p. 348-370, 2013.

CONWAY, R.; MAXWELL, W.; MCCLAIN, J. O.; THOMAS, L. J. *Role of work-in-process inventory in serial production lines. Operations Research*, v. 36, p. 229-241, 1988.

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.

CORRENTE, S.; GRECO, S.; SŁOWIŃSKI, R. *Multiple Criteria Hierarchy Process for ELECTRE Tri methods. European Journal of Operational Research*, v. 252, p. 191–203, 2014.

DA ALVES, T. C. L.; DE BARROS NETO, J. P.; HEINECK, L. F. M.; KEMMER, S. L.; PEREIRA, P. E. *Incentives and innovation to sustain Lean construction implementation. Proceedings of IGLC17: 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, p. 583-592, 2009.

DAVIES, E. R. *Design of cost-effective systems for the inspection of certain food products during manufacture*, p. 437-446, 1984.

DE ARAUJO, L.F.; DE QUEIROZ, A. A. *A conceptual model for production leveling (Heijunka) implementation in batch production systems. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v. 338 AICT, p. 81-88, 2010.

DE CARLO, F.; ARLEO, M. A.; BORGIA, O.; TUCCI, M. *Layout design for a low capacity manufacturing line: A case study. International Journal of Engineering Business Management*, v. 5, 2013.

DEB, K.; CHAE, H. -U.; JO, K. -H. *Parallelogram and histogram based vehicle license plate detection. ICSMA 2008 - International Conference on Smart Manufacturing Application*, p. 349-353, 2008.

DEIF, A. M.; ELMARAGHY, H. *Cost performance dynamics in Lean production leveling. Journal of Manufacturing Systems*, v. 33, p. 613-623, 2014.

DENNIS, A.R.; VALACICH, J.S. *Computer Brainstorms: More Heads Are Better Than One, Journal of Applied Psychology*. v. 78, p. 531-537, 1993.

DER WIELE, T. V.; ALBLIWI, S.; ANTONY, J.; LIM, S. A. H. *Critical failure factors of Lean Six Sigma: a systematic literature review. International Journal of Quality & Reliability Management*, V. 31 N. 9, pp. 1012-1030, 2014.

DESLANDES, S. F. **Pesquisa social: Teoria, métodos e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2000.

DEVI, K. M.; SINGH, T. B. *Fuzzy goal programming based on piecewise linear membership functions. International Journal of Pure and Applied Mathematics*, v. 89, n. 3, p. 323-334, 2013.

DIEHL, M.; STROEBE, W. *Productivity Loss In Brainstorming Groups: Toward the Solution of a Riddle, Journal of Personality and Social Psychology*. v. 53, p. 497-509, 1987.

DIETRICH, C. *Decision Making: Factors that Influence Decision Making, Heuristics Used, and Decision Outcomes. Inquiries Journal/Student Pulse*, 2(02). Retirado de <http://www.inquiriesjournal.com/a?id=180>, 2010.

DIGH, H.; TORU, K.; YOSHIFUM, K.; EJI, T. *A fully depleted Lean-channel transistor (DELTA)--A novel vertical ultra thin SOI MOSFET. Technical Digest - International Electron Devices Meeting*, p. 833-836, 1989.

DOES, R. J. M. M. et al. *Reducing start time delays in operating rooms. Journal of Quality Technology*, v. 41, p. 95-109, 2009.

DOMAN, M. S. *A new Lean paradigm in higher education: A case study. Quality Assurance in Education*, v. 19, p. 248-262, 2011.

DOUGLAS, A.; DOUGLAS, J.; OCHIENG, J. *Lean Six Sigma implementation in East Africa: findings from a pilot study*", *The TQM Journal*, v. 27, n. 6, pp.772-780, <https://doi.org/10.1108/TQM-05-2015-0066>, 2015.

DUARTE, B.; MONTGOMERY, D.; FOWLER, J.; KONOPKA, J. *Deploying LSS in a global enterprise – project identification, International Journal of Lean Six Sigma*, V. 3 N. 3, pp. 187-205, 2012

DUARTE JR., A. M. **Análise de Investimentos em Projetos: Viabilidade Financeira e Risco**. Editora Saint Paul, São Paulo, 2013.

DUFFUAA, S. O.; BEN-DAYA, M. *Improving maintenance quality using SPC tools. Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 1, p. 25-33, 1995.

EMILIANI, M. L. *Supporting small businesses in their transition to Lean production. Supply Chain Management: An International Journal*, v. 5, p. 66-71, 2000.

ENOCH, O. K. *Profitability: A Review of Manufacturing SMEs in Nigeria. American Journal of Industrial and Business Management*,3, 573-582, 2013.

EPPEN, G. D.; IYER, A. V. *Backup agreements in fashion buying - The value of upstream flexibility. Management Science*, v. 43, p. 1469-1484, 1997.

ESFANDYARI, A.; OSMAN, M. R.; ISMAIL, N.; TAHRIRI, F. *Application of value stream mapping using simulation to decrease production lead time: A Malaysian manufacturing case. International Journal of Industrial and Systems Engineering*, v. 8, p. 230-250, 2011.

FAGERHOLM, F.; GUINEA, A. S.; MÄENPÄÄ, H.; MÜNCH, J. *Building blocks for continuous experimentation. 1st International Workshop on Rapid Continuous Software Engineering, RCoSE 2014 - Proceedings*, p. 26-35, 2014.

FAN, L.; DENG, J. *Application of Lean logistics in engine plant. 2016 Manufacturing and Industrial Engineering Symposium: Innovative Applications for Industry, MIES*, 2016.

FANG, K.; HONG, X.; LI, S. *Choosing competitive industries in manufacturing of China under low-carbon economy: A Three-stage DEA analysis. International Journal of Climate Change Strategies and Management*, v. 5, n. 4, p. 431-444, 2013.

FERNANDES, S. T. **Integração dos programas de melhoria Lean Manufacturing e Six Sigma aplicados à logística de transporte de produtos de uma indústria metalúrgica**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2008.

FERNANDES, M. M.; TURRIONI, J. B. Seleção de projetos Six Sigma: aplicação em uma indústria do setor automobilístico. **Produção**, v. 17, n. 3, p. 579-591, 2007.

FERRADÁS, P. G.; SALONITIS, K. *Improving changeover time: A tailored SMED approach for welding cells*. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 598-603, 2013.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. **Springer Verlag**, 2005.

FILHO, M. G.; UZSOY, R. *The impact of simultaneous continuous improvement in setup time and repair time on manufacturing cycle times under uncertain conditions*. **International Journal of Production Research**, v. 51, p. 447-464, 2013.

FLORENT, T. M.; ZHEN, H.; ROMARIC, A. A. *The continuous improvement model of Lean production based on multi-type and small-batch production*. *2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII 2009*, v. 1, p. 469-472, 2009.

FOLCH-LYON, E.; TROST, J. F. *Conducting focus group sessions*. **Studies in Family Planning**, v. 12, p. 443-449, 1981.

FREDENDALL, L. D.; OJHA, D.; WAYNE, P. J. *Concerning the theory of workload control*. **European Journal of Operational Research**, v. 201, p. 99-111, 2010.

FREITAS, J. G de; COSTA, H. G.; FERRAZ, F. T. *Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability: A survey study*. **Journal of Cleaner Production**, V. 156, p. 262-275, 2017.

GADRE, A.; CUDNEY, E.; CORNS, S. *Model development of a virtual learning environment to enhance Lean education*. **Procedia Computer Science**, v. 6, p. 100-105, 2011.

GALLUPE, R.B.; BASTIANUTTI, L.M.; COOPER, W.H. *Unblocking Brainstorms*, **Journal of Applied Psychology**. v. 76, p. 137-142, 1991.

GANESH, L.; MEHTA, A. *A Survey Instrument for Identification of the Critical Failure Factors in the Failure of ERP Implementation at Indian SMEs*. **International Journal of Managing Public Sector Information and Communication Technologies (IJMP ICT)** V. 1, N. 2, December 2010.

GAO, Y.; ZHAO, S.; LI, Q. *Unprecedented cooperation between China and Africa in space education*. *International Astronautical Federation - 58th International Astronautical Congress 2007*, v. 11, p. 7646-7652, 2007.

GARCIA, E. V.; RUNNELS, J. E. *Utility perspective of spot pricing*, 1984.

GARCÍA-PORRES, J.; ORTIZ-POSADAS, M. R. *Sigma level performance of the innovated process in the imaging department at a mexican health institute*. **Journal of Digital Imaging**, v. 26, p. 353-360, 2013.

GARG, P.; GARG, A. *An empirical study on critical failure factors for enterprise resource planning implementation in Indian retail sector*, **Business Process Management Journal**, V. 19 N. 3, pp.496-514, 2013.

GENCER, C.; GÜRPINAR, D. *Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm*. **Applied Mathematical Modelling** 31, 2475–2486, 2007.

GIJO, E. V.; RAO, T. S. *Six Sigma implementation - Hurdles and more hurdles*. **Total Quality Management and Business Excellence**, v. 16, p. 721-725, 2005.

GIJO, E. V.; SCARIA, J. *Reducing rejection and rework by application of Six Sigma methodology in manufacturing process*. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 6, p. 77-90, 2010.

GIJO, E. V.; ANTONY, J; KUMAR, M.; MCADAM, R.; HERNANDEZ, J. *An application of Six Sigma methodology for improving the first pass yield of a grinding process*. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 25, p. 125-135, 2014.

GILES, J. *Ten ways to grow your business*. **Quick Printing**, v. 27, p. 24-25, 2004.

GOH, T.N. *Economical experimentation via 'Lean design'*. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 12, p. 383-388, 1996.

GOLDSTEIN, M D. *Six Sigma Program Success Factors*. **Six Sigma Forum Magazine**, pp.36-45, November 2001.

GOMES, E. G.; ALENCAR, M. C. F. *Proposição de um Índice de Produção para Bibliotecas com uso do Método MACBETH*. **Engevista**, 7, 21-31, 2005.

GOVINDAN, K.; JEPSEN, M. B. *ELECTRE: A comprehensive literature review and applications*. **European Journal of Operational Research**, v. 250, p. 1–29, 2016.

GOYAL, S.; CHATTERJEE, A. *Linearity testing of A/D converters using selective code measurement*. **Journal of Electronic Testing: Theory and Applications (JETTA)**, v. 24, p. 567-576, 2008.

GRAVES, A. *What is DMAIC?* **Six Sigma Daily**, December, 7, 2012. Disponível em: <<http://www.sixsigmadaily.com/methodology/what-is-dmaic>>, Acesso em Outubro de 2014.

GREENFIELD, R. B. *AIN: Early operations experiences*. **Management Symposium**, p. 611-622, 1992.

GREMYR, I.; FOUQUET, J-B. *Design for Six Sigma and Lean product development*. **International Journal of Lean Six Sigma**, v.3, n.1, p.45-58, 2012.

GUPTA, K.; GARG, M. *Six sigma application in ACP sheet damage problem: A case study*. **Proceedings - 2014 3rd International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization: Trends and Future Directions, ICRITO 2014**, 2015.

GURUMURTHY, A.; KODALI, R. *Design of Lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation A case study. Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 22, p. 444-473, 2011.

HABIDIN, F. N.; YUSOF, M. S. R. *Critical success factors of Lean Six Sigma for the Malaysian automotive industry. International Journal of Lean Six Sigma*, v. 4, n. 1, p. 60-82, 2013. Disponível em: < <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/20401461311310526> >.

HAIDER, A.; MIRZA, J. *An implementation of Lean scheduling in a job shop environment. Advances in Production Engineering and Management*, v. 10, p. 5-17, 2015.

HAN, P. Y.; KIRKPATRICK, C. M. J.; GREEN, B. *Informative study designs to identify true parameter-covariate relationships. Journal of Pharmacokinetics and Pharmacodynamics*, v. 36, p. 147-163, 2009.

HARDASH, J. A. -C.; HAMILTON, B. A. *Why is a technical baseline important on a non-engineering technical project? IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 2010.

HASAN, M. A.; SARKIS, J.; SHANKAR, R. *Agility and production flow layouts: An analytical decision analysis. Computers & Industrial Engineering*, 62(4), 898–907, 2012.

HAWES, A.; JONES, K. *Delivering a 10-30% increase in paper machine efficiency, without capital expenditure, within 6 months. Proceedings - PulPaper 2004 Conferences, Efficiency*, p. 49-54, 2004.

HENDERSON, K. M.; EVANS, J.R. *Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric Company", Benchmarking: An International Journal*, V. 7 Iss 4 pp. 260 - 282, 2000.

HICKS, B. J. *Lean information management: Understanding and eliminating waste. International Journal of information management*, v.27, n.4, p.233-249, Aug. 2007.

HODGE, G. L.; GOFORTH ROSS, K.; JOINES, J. A.; THONEY, K. *Adapting Lean manufacturing principles to the textile industry. Production Planning and Control*, v. 22, p. 237-247, 2011.

HOST, M.; REGNELL, B.; WOHLIN, C. *Using students as subjects - a comparative study of students and professionals in lead-time impact assessment. Empirical Software Engineering*, v. 5, p. 201-214, 2000.

HUDYMÁCOVÁ, M. et al. *Supplier selection based on multi-criterial AHP method. Acta Montanistica Slovaca*, v. 15, p. 249-255, 2010.

HUNTER, S. L. *The Toyota production system applied to the upholstery furniture manufacturing industry. Materials and Manufacturing Processes*, v. 23, p. 629-634, 2008.

HUNTER, S. L.; BULLARD, S.; STEELE, P. H. *Lean production in the furniture industry: The double D assembly cell. Forest Products Journal*, v. 54, p. 32-38, 2004.

HUTABARAT, J.; SOEPARMAN, S.; PRATIKTO, B.; SANTOSO, P. *Influence of singing dancing during a rest break towards productivity and product quality. **World Applied Sciences Journal***, v. 25, p. 1239-1250, 2013.

HWANG, R.; KATAYAMA, H. *A multi-decision genetic approach for workload balancing of mixed-model U-shaped assembly line systems. **International Journal of Production Research***, v. 47, p. 3797-3822, 2009.

IYER, A. V.; BERGEN, M. E. *Quick response in manufacturer-retailer channels. **Management Science***, v. 43, p. 559-570, 1997.

JEFFRIES, H. E.; ZIMMERMAN, J. J.; ALBERT, J. E. -M.; HARTMANN, S. M. *Lean in the cardiac intensive care unit. **Pediatric and Congenital Cardiac Care: Quality Improvement and Patient Safety***, v. 2, p. 261-274, 2015.

JIN, L.; PARTHASARATHY, K.; KUYEL, T.; CHEN, D.; GEIGER, R. L. *Linearity testing of precision analog-to-digital converters using stationary nonlinear inputs. **IEEE International Test Conference (TC)***, p. 218-227, 2003.

JONAS, D. *Empowering project portfolio managers: how management involvement impacts project portfolio management performance. **International Journal of Project Management***, v. 28, N. 8, 818–831, 2010.

JUNG, D.I.; AVOLIO, B.J. *Opening the black box: An experimental investigation of the mediating effects of trust and value congruence on transformational and transactional leadership, **Journal of Organizational Behavior***. v. 21, p. 949-964, 2000.

JUNG, C.; PARK, J.; SONG, S. *Performance and NOx emissions of a biogas-fueled turbocharged internal combustion engine. **Energy***, v. 86, p. 186-195, 2015.

KAHRAMAN, C.; ERTAY, T.; BÜYÜKÖZKAN, G. *A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. **European Journal of Operational Research***, v. 171, p. 390-411, 2006.

KALASHNIKOV, V.; BENITA, F.; LÓPEZ-RAMOS, F., HERNÁNDEZ-LUNA, A. *Bi-objective project portfolio selection in Lean Six Sigma. **International Journal of Production Economics***, v. 186, p. 81-88, 2017.

KANG, L.; ALBIN, S. L. *On-line monitoring when the process yields a linear profile. **Journal of Quality Technology***, v. 32, p. 418-426, 2000.

KARMAKAR, U. S. *Lot sizes, lead times and in-process inventories. **Management Science***, v. 33, p. 409-418, 1987.

KARSAK, E.; SOZER, S.; ALPTEKIN, S. *Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. **Computers and Industrial Engineering***, v. 44, p. 171-190, 2003.

KERR, N.L.; TINDALE, R.S. *Group performance and decision making, **Annual Review of Psychology***. v. 55, p. 623-655, 2004.

- KERZNER, H. **Gestão de Projetos: as melhores práticas**. Porto Alegre: Bookman. 2006.
- KHAMKANYA, T.; HEANEY, G.; MCGREAL, S. *Introduction of AHP Satisfaction Index for workplace environments*. **Journal of Corporate Real Estate**, v. 14, n.2, p. 80-93, 2012.
- KIKER, G. A. et al. *Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making*. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 1, n. 2, p. 95, 2005.
- KIM, J. -H.; CHOI, J. -H.; HUSAIN, A.; KIM, K. -Y. *Performance enhancement of axial fan blade through multi-objective optimization techniques*. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 24, p. 2059-2066, 2010.
- KITCHER, B.; MCCARTHY, I. P.; TURNER, S.; RIDGWAY, K. *Understanding the effects of outsourcing: Unpacking the total factor productivity variable*. **Production Planning and Control**, v. 24, p. 308-317, 2013.
- KOCH, P. N.; YANG, R. -J.; GU, L. *Design for Six sigma through robust optimization*. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, v. 26, p. 235-248, 2004.
- KOIDE, K. and IWATA, T., *Deployment of a Global Kanban System*, **SAE Technical Paper**, 2006-01-3133, 2006.
- KOSTENKO, E.; KUZNICHENKO, V.; LAPSHYN, V. *Comparison of Decision-Making Methods*. **Research in Applied Economics**, ISSN 1948-5433, V. 6, N. 3, 2014.
- KOTLER, P.; LEVY, S. J. *Broadening the concept of marketing*. **Journal of Marketing**, v. 33, p. 10-15, 1969.
- KOURTI, T.; MACGREGOR, J. F. *Multivariate SPC methods for process and product monitoring*. **Journal of Quality Technology**, v. 28, p. 409-428, 1996.
- KRAFCIK, J. F. *Triumph of the Lean production system*. **Sloan Management Review**, autumn, p. 41-52, 1988.
- KROHLING, R. A. e DE SOUZA, T. M. *Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão*. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, Nº 8, P.31-35, 2011.
- KRUGER, D. *Lean utilisation for streamlining processes in the higher education sector in South Africa*. **PICMET 2016 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Technology Management For Social Innovation, Proceedings**, p. 1740-1750, 2017.
- KUMAR, M. et al. *Implementing the Lean Sigma framework in an Indian SME: a case study*. **Production planning & control**, v.17, n.4, p.407-423, 2006.
- KUMAR, S.; STEINEBACH, M. *Eliminating US hospital medical errors*. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v. 21, p. 444-471, 2008.

KUMAR, A.; BANSAL, A.; BABBAR, N. *Fully fuzzy linear systems of triangular fuzzy numbers (a,b,c)*. **International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics**, v. 6, n. 1, p 21-44, 2012.

KUMAR, P.; SINGH, R. K. *A fuzzy AHP and TOPSIS methodology to evaluate 3PL in a supply chain*. **Journal of Modelling in Management**. v. 7, n. 3, p. 287-303, 2012.

KUMAR, U. D. et al. *On the optimal selection of process alternatives in a Six Sigma implementation*. **International journal of production economics**, v.111, n.2, p. 456-467, 2008.

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, 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, p. 659-676, 2008.

KUTLU, A. C.; EKMEKÇIOĞLU, M. *Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP*. **Expert Systems with Applications**, v. 39, p. 61-67, 2012.

KUYEL, T. *Linearity testing issues of analog to digital converters*. **IEEE International Test Conference (TC)**, p. 747-756, 1999.

KWAK, Y. H.; ANBARI, F. T. *Benefits, obstacles, and future of Six sigma approach*. **Technovation**, v.26, n.5-6, p.708-715, 2006.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. 4. ed. São Paulo: Pearson - Prentice Hall, 2009.

LAINE, E.; ALHAVA, O.; KIVINIEMI, A. *Improving built-in quality by BIM based visual management*. **22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014**, p. 945-956, 2014.

LAU, K. H. *Distribution network rationalization through benchmarking with DEA*. **Benchmarking: An International Journal**, v. 19, n. 6, p. 668-689, 2012.

LAUREANI, A; ANTONY, J. *Critical success factors for the effective implementation of Lean Sigma*, **International Journal of Lean Six Sigma**, V. 3 Iss 4 pp. 274 – 283, 2012.

LAUREANI, A.; BRADY, M.; ANTONY, J. *Applications of Lean Six Sigma in an Irish hospital*", **Leadership in Health Services**, V. 26 N. 4, pp.322-337, 2013.

LEE, S.; ROSS, S. D. *Sport sponsorship decision making in a global market An approach of Analytic Hierarchy Process (AHP)*. **Sport, Business and Management: An International Journal**, v. 2, n. 2, p. 156-168, 2012.

LEE, K.-S.; KIM, K. -Y.; SAMAD, A. *Design optimization of low-speed axial flow fan blade with three-dimensional RANS analysis. Journal of Mechanical Science and Technology*, v. 22, p. 1864-1869, 2008.

LEE-MORTIMER, A. *A continuing Lean journey: An electronic manufacturer's adopting of Kanban. Assembly Automation*, v. 28, p. 103-112, 2008.

LENORT, R.; STAS, D.; HOLMAN, D; WICHER, P. *A3 method as a powerful tool for searching and implementing green innovations in an industrial company transport. TRANSCOM 2017: International scientific conference on sustainable, modern and safe transport, Procedia Engineering*, v. 192, p. 533 – 538, 2017.

LI, X; WANG, X.; ZHENG, Y; SHANG, X. *Uncertain systems: models, methods and applications – Part 1. The pattern of grey fuzzy forecasting with feedback. Kybernetes*, v. 41, n. 5/6, p 568-576, 2012.

LI, A. *Shanghai surprise. Industrial Engineer*, v. 40, p. 28-32, 2008.

LIAN, Y. -H.; VAN LANDEGHEM, H. *Analysing the effects of Lean manufacturing using a value stream mapping-based simulation generator. International Journal of Production Research*, v. 45, p. 3037-3058, 2007.

LIKER, J. **O modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIMA, E. P.; GARBUIO, P. A. R.; GOUVÊA, S. E. Proposta de modelo teórico-conceitual utilizando o *Lean Six Sigma* na gestão de produção. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** 29, 2009, Salvador. Anais, Salvador. Disponível em: <www.abepro.org.br/./enegep2009_TN_STO_091_615_13907.pdf>. Acesso em: 22 de Julho de 2014.

LIN, S. *An investigation of the range sensitivity of attribute weight in the analytic hierarchy process. Journal of Modelling in Management*, v. 8, n. 1, p 65-80, 2013.

LIN, M. -C.; WANG, C. -C.; CHEN, M. -S.; CHANG, C. A. *Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process. Computers in Industry*, v. 59, p. 17-31, 2008.

LING, A. P. A.; SALUDIN, M. N.; MUKAIDONO, M. *Deriving consensus rankings via multicriteria decision-making methodology. Business strategy series*, v. 13, n. 1, p. 3-13, 2012.

LIU W.; YE W.; SUN J.; DONG Z.; WANG Q. *KPOVs analytical memod based on improved weighted dynamic pareto chart. BioTechnology: An Indian Journal*, v. 10, p. 1917-1926, 2014.

LOPES, R.; CAVALCANTE, C.; NASCIMENTO, T.; JUNIOR, C. Modelo multicritério para suportar a definição da política de manutenção oportuna. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 572-579, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

LORENZEN, T. J.; VANCE, L. C. *The economic design of control charts: A unified approach. Technometrics*, v. 28, p. 3-10, 1986.

LÖSER, K.; HEUER, V. *Vacuum heat treatment systems for modern production strategies. European Conference on Heat Treatment 2015 and 22nd IFHTSE Congress - Heat Treatment and Surface Engineering from Tradition to Innovation*, 2015.

LOWRY, C. A.; MONTGOMERY, D. C. *A review of multivariate control charts. IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, v. 27, p. 800-810, 1995.

LU, J. -C.; YANG, T. *Implementing Lean standard work to solve a low work-in-process buffer problem in a highly automated manufacturing environment. International Journal of Production Research*, v. 53, p. 2285-2305, 2015.

MABRY, B. G.; MORRISON, K. R. *Transformation to Lean manufacturing by an automotive component supplier. Computers and Industrial Engineering*, v. 31, p. 95-98, 1996.

MACGREGOR, J. F.; KOURTI, T. *Statistical process control of multivariate processes. Control Engineering Practice*, v. 3, p. 403-414, 1995.

MACHARIS, C.; BRANS, J. -P.; MARESCHAL, B. *The GDSS PROMETHEE Procedure. Journal of Decision Systems*, v. 7, p. 283-307, 1998

MADEIRA JUNIOR, A. G. M.; CARDOSO JUNIOR, M. M. C.; BELDERRAIN, M. C. N.; CORREIA, A. R.; SCHWANS, S. H. *Multicriteria and multivariate analysis for port performance evaluation. International Journal of Production Economics*, v. 140, p. 450-456, 2012.

MANDAHAWI, N.; AL-SHIHABI, S.; ABDALLAH, A. A.; ALFARAH, Y. M. *Reducing waiting time at an emergency department using design for Six Sigma and discrete event simulation. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, v. 6, p. 91-104, 2010.

MANDIC, D.; JOVANIC, P.; BUGARINOVIC, M. *Two-phase model for multi-criteria project ranking: Serbian Railways case study. Transport Policy*, V. 36, p. 88-104, 2014.

MANVILLE, G.; GREATBANKS, R.; KRISHNASAMY, R.; PARKER, D. W. *Critical success factors for Lean Six Sigma programmes: a view from middle management, International Journal of Quality & Reliability Management*, V. 29 N. 1, pp.7-20, 2012.

MAREK, R. P.; ELKINS, D. A.; SMITH, D. R. *Understanding the fundamentals of Kanban and CONWIP pull systems using simulation. Winter Simulation Conference Proceedings*, v. 2, p. 921-929, 2001.

MARKSBERRY, P.; BADURDEEN, F.; MAGINNIS, M. A. *An investigation of Toyota's social-technical systems in production leveling. Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 22, p. 604-620, 2011.

MARQUES, P.; REQUEIJO, J.; SARAIVA, P.; GUERREIRO, F. F. *Integrating Six Sigma with ISO 9001, International Journal of Lean Six Sigma*, V. 4 N. 1, pp.36-59, 2013.

MARRO, A. A. et al. **Lógica Fuzzy: Conceitos e aplicações**. Departamento de Informática e Matemática Aplicada (DIMAp), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2009.

MARSH, S. J.; STOCK, G. N. *Building dynamic capabilities in new product development through intertemporal integration*. **Journal of Product Innovation Management**, v. 20, p. 136-148, 2003.

MARTINEZ-JURADO, P. J.; MOYANO-FUENTES, J. *Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review*. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p.134-150, 2012

MARTINS, R. A. **Guia para elaboração de monografia e tcc em engenharia de produção**. 211 p., São Paulo: Ed. Atlas, 2014.

MARUDHAMUTHU, R.; KRISHNASWAMY, M.; PILLAI, D. M. *The development and implementation of Lean manufacturing techniques in indian garment industry*. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, v. 5, p. 527-532, 2011.

MARZAGÃO, D. S. L.; CARVALHO, M. M. *Critical success factors for Six Sigma projects*. **International Journal of Project Management**, v. 34, p. 1505-1518, 2016.

MATEUS, R. J. G.; BANA E COSTA, J. C.; MATOS, P. V. *Supporting Multicriteria Group Decisions with MACBETH Tools: Selection of Sustainable Brownfield Redevelopment Actions*. **Group Decision Negotiations**, 2016.

MATTHING, J.; SANDÉN, B.; EDVARDSSON, B. *New service development: Learning from and with customers*. **International Journal of Service Industry Management**, v. 15, p. 479-498, 2004.

MCLEOD, P.L.; LOBEL, S.A.; COX JR.; T.H. *Ethnic diversity and creativity in small groups*, **Small Group Research**. v. 27, p. 248-263, 1996.

MICHAELS, L. M. J. *The making of a Lean aerospace supply chain*. **Supply Chain Management**, v. 4, p. 135-144, 1999.

MICHIE, S.; JOHNSTON, M.; FRANCIS, J.; HARDEMAN, W.; ECCLES, M. *From Theory to Intervention: Mapping Theoretically Derived Behavioural Determinants to Behaviour Change Techniques*, **Applied Psychology**. v. 57, p. 660-680, 2008.

MILLER, K. M.; HOFSTETTER, R.; KROHMER, H.; ZHANG, Z. J. *How should consumers' willingness to pay be measured? an empirical comparison of state-of-the-art approaches*. **Journal of Marketing Research**, v. 48, p. 172-184, 2011.

MIRALLES, C.; HOLT, R.; MARIN-GARCIA, J. A.; CANOS-DAROS, L. *Universal design of workplaces through the use of Poka-Yokes: Case study and implications*. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 4, p. 436-452, 2011.

MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. *On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon*, **Interfaces**, v. 4, n. 3, 1974.

MODARRESS, B.; ANSARI, A.; LOCKWOOD, D. L. *Kaizen costing for Lean manufacturing: A case study. International Journal of Production Research*, v. 43, p. 1751-1760, 2005.

MODIG, N.; ÅHLSTRÖM, P. *This is Lean: resolving the efficiency paradox, Stockholm, Rheologica publ.*, 2012.

MORÁBITO, R.; PUREZA, V., **Modelagem e Simulação**. In: Miguel, P.A.C. (org.) *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. 248p., São Paulo: Campus, 2009.

MOSKOWITZ, H.; KIM, K. J. *QFD optimizer: A novice friendly quality function deployment decision support system for optimizing product designs. Computers and Industrial Engineering*, v. 32, p. 641-655, 1997.

MUKHOPADHYAY, A. R.; RAY, S. *Reduction of yarn packing defects using Six sigma methods: A case study. Quality Engineering*, v. 18, p. 189-206, 2006.

MULLEN, B.; JOHNSON, C.; SALAS, E. *Productivity Loss in Brainstorming Groups: A Meta-Analytic Integration, Basic and Applied Social Psychology*. v. 12, p. 3-23, 1991.

NAM, H. *Design factor analysis of fiber metal laminates under concentrated load by using design of experiment. Applied Mechanics and Materials*, v. 248, p. 167-172, 2013.

NARANG, R. V. *Some issues to consider in Lean production. Proceedings - 1st International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET 2008*, p. 749-753, 2008.

NETO, A. G. L. P. **Redução do tempo de ciclo do pedido: uma aplicação Lean Sigma na logística**. 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Transportes) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

NETTO, E. G. G.; JÚNIOR, J. C. F.; BRANDÃO, L. A.; DA HORA, H. R. M. *Auxílio multicritério na gestão de portfólio de projetos, Perspectivas Online*, V. 4, n. 15, 2010.

NISHIDA, N.; TAKAHASHI, Y.; WAKAO, S. *Robust design optimization approach by combination of sensitivity analysis and sigma level estimation. IEEE Transactions on Magnetics*, v. 44, p. 998-1001, 2008.

NOMIKOS, P.; MACGREGOR, J.F. *Multivariate SPC charts for monitoring batch processes. Technometrics*, v. 37, p. 41-59, 1995.

NORTH, D. M. *Challenge Met. Aviation Week and Space Technology (New York)*, v. 159, p. 79-84, 2003.

NUNES, I. J. D. **Aplicação de ferramentas Lean no planejamento de obras**. 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

- OHLMANN, W. J.; FRY, J. M.; THOMAS, W. B. *Route design for Lean production systems. Transportation Science*, v. 42, p. 352-370, 2008.
- OLIVEIRA, L. G.; DA SILVA, C. E.; DAMBROS, N. A. N. Critérios de priorização de projetos: Proposta para os projetos administrativos da pró-reitoria de pesquisa e pós-graduação de uma IES. **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Fortaleza, 2015.
- OPPENHEIM, B. W. *Lean product development flow. Systems Engineering*, v. 7, p. 352-376, 2004.
- ORDOOBADI, S. M. *Application of ANP methodology in evaluation of advanced technologies. Journal of Manufacturing Technology*, v. 23, n. 2, p. 229-252, 2012.
- OUYANG, L. -Y.; YEH, N. -C.; WU, K. -S. *Mixture inventory model with backorders and lost sales for variable lead time. Journal of the Operational Research Society*, v. 47, p. 829-832, 1996.
- ÖZCAN, T.; ELEBI, N.; ESNAF, A. *Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 8, p. 9773–9779, 2011.
- PAMFILIEA, R.; PETCU, A. J.; DRAGHICIC, M. *The importance of leadership in driving a strategic Lean Six Sigma management. Procedia - social and behavioral sciences*, n.58, p.187-196, 2012.
- PAMPANELLI, A. B.; FOUND, P.; BERNARDES, A. M. *A Lean & Green Model for a production cell. Journal of Cleaner Production*, v. 85, p. 19-30, 2014.
- PANDREMMENOU, H.; SIRAKOULIS, K.; BLANAS, N. *Success Factors in the Management of Investment Projects: A Case Study in the Region of Thessaly. Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 74, p. 438 – 447, 2013.
- PANNELL, A. *Happy together: Solid Lean Principles are at the heart of every successful Six Sigma Program. Industrial Engineer*, v.38, n. 3, p.46-49, mar. 2006.
- PARAST, M. M. *The effect of Six Sigma projects on innovation and firm performance. International journal of project management*, v.29, n.1, p. 45-55, 2011.
- PARKER, D. W.; MANVILLE, G.; GREATBANKS, R.; KRISHNASAMY, R. *Critical success factors for Lean Six Sigma programmes: a view from middle management, International Journal of Quality & Reliability Management*, V. 29 Iss 1 pp. 7 – 20, 2012.
- PARRY, G. *Counting the cost. Manufacturing Engineer*, v. 84, p. 22-25, 2005.
- PARRY, G. C.; TURNER, C. E. *Application of Lean visual process management tools. Production Planning and Control*, v. 17, p. 77-86, 2006.
- PARTOVI, F. Y.; CORREDOIRA, R. A. *Quality function deployment for the good of soccer. European Journal of Operational Research*, v. 137, p. 642-656, 2002.

PARVEEN, M.; RAO, T. V. V. L. N. *An integrated approach to design and analysis of Lean manufacturing system: A perspective of Lean supply chain. International Journal of Services and Operations Management*, v. 5, p. 175-208, 2009.

PATTANAIAK L.N., SHARMA B.P. *Implementing Lean manufacturing with cellular layout: A case study. International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 42, p. 772-779, 2009.

PEDERSEN, M. F.; OLSEN, J. V. *Measuring credit capacity on Danish farms using DEA. Agricultural Finance Review*, v. 73, n. 3, p 393-412, 2013.

PEPPER, M. P. J.; T.A. SPEDDING, T. A. *The evolution of Lean Six Sigma, International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 27, n. 2, pp.138-155, 2010.

PEREIRA, A.; ABREU, M. F.; SILVA, D.; ALVES, A. C.; OLIVEIRA, J. A.; LOPES, I.; FIGUEIREDO, M. C. *ReconFigurable Standardized Work in a Lean Company - A Case Study. Procedia CIRP*, v. 52, p. 239-244, 2016.

PEREZ-GARCIA, J.; LIPPKE, B.; COMNICK, J.; MANRIQUEZ, C. *An assessment of carbon pools, storage, and wood products market substitution using life-cycle analysis results. Wood and Fiber Science*, v. 37, p. 140-148, 2005.

PETER, K.; LANZA, G. *Company-specific quantitative evaluation of Lean production methods. Production Engineering*, v. 5, p. 81-87, 2011.

PILLAY, A.; WANG, J. *Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. Reliability Engineering and System Safety*, v. 79, p. 69-85, 2003.

PINTO, A. P. *A aplicação do Lean Six Sigma na prestação de serviços no setor agrícola*. 2011. 81 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Ciências Econômicas) – Faculdade de Ciências Econômicas de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, 2011.

PMI. *PMI annual report, Project Management Institute*, p. 1-16, 2015.

PODVEZKO, V.; PODVIEZKO, A. *Dependence of multi-criteria evaluation result on choice of preference functions and their parameters. Ukio Technoginis ir Ekonominis Vystymas*, v. 16, p. 143-158, 2010.

POLLAY, R. W. *Targeting youth and concerned smokers: Evidence from Canadian tobacco industry documents. Tobacco Control*, v. 9, p. 136-147, 2000.

PONTOPPIDAN, M.; GAVIANI, G.; BELLA, G.; DE MAIO, A.; ROCCO, V. *Experimental and numerical approach to injection and ignition optimization of Lean GDI-combustion behavior. SAE Technical Papers*, 1999.

POPPEndieck, M.; CUSUMANO, M. A. *Lean software development: A tutorial. IEEE Software*, v. 29, p. 26-32, 2012.

PORTIOLI-STAUDACHER, A.; TANTARDINI, M. *A Lean-based ORR system for non-repetitive manufacturing. International Journal of Production Research*, v. 50, p. 3257-3273, 2012.

PRASAD, B. *Review of QFD and Related Deployment Techniques. Journal of Manufacturing Systems*, v. 17, p. 221-234, 1998.

PRINCE, J.; KAY, J. M. *Combining Lean and agile characteristics: Creation of virtual groups by enhanced production flow analysis. International Journal of Production Economics*, v. 85, p. 305-318, 2003.

PROMETHEE METHODS. **PROMETHEE-Gaia: métodos, modelagem e software MCDA.** Disponível em < <http://www.promethee-gaia.net/index.html>>, acessada em 30 de Janeiro de 2017.

QIU, F. -S.; WANG, H. -C.; LI, J. -J.; WANG, Y. -F. *Research and development on management information system of the multiple-sort and small-batch materials in Lean production. Wuhan Ligong Daxue Xuebao/Journal of Wuhan University of Technology*, v. 28, p. 117-120+136, 2006.

QIU, G.; LIU, H.; RIFFAT, S. *Expanders for micro-CHP systems with organic Rankine cycle. Applied Thermal Engineering*, v. 31, p. 3301-3307, 2011.

RAHANI, A. R.; AL-ASHRAF, M. *Production flow analysis through Value Stream Mapping: A Lean manufacturing process case study. Procedia Engineering*, v. 41, p. 1727-1734, 2012.

RAO, S.; NEPAL, B.; YADAV, O. P. *Productivity improvement of production floor using line balancing: A case study at a manufacturing company. International Annual Conference of the American Society for Engineering Management 2015, ASEM 2015*, p. 289-297, 2015.

RAY, S.; JOHN, B. *Lean Six-Sigma application in business process outsourced organization. International Journal of Lean Six Sigma*, v. 2, p. 371-380, 2011.

REYNOLDS, M. R.; AMIN, R. W.; ARNOLD, J. C.; NACHLAS, J. A. *X charts with variable sampling intervals. Technometrics*, v. 30, p. 181-192, 1988.

RHEE, S. J.; ISHII, K. *Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. Advanced Engineering Informatics*, v. 17, p. 179-188, 2003.

RIANI, A. M. **Estudo de caso: o Lean Manufacturing aplicado na Becton Dickinson.** 2006. 44 f. Trabalho de Graduação (Graduação Engenharia de Produção) Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006.

RIBEIRO, L.; ALVES, A. C.; MOREIRA, J. F. P.; FERREIRA, M. *Applying standard work in a paint shop of wood furniture plant: A case study. 22nd International Conference on Production Research, ICPR, 2013.*

RIEZEBOS, J.; KLINGENBERG, W.; HICKS, C. *Lean Production and information technology: Connection or contradiction? Computers in Industry*, v. 60, p. 237-247, 2009.

ROBINSON, S. T.; KIRSCH, J. R. *Lean Strategies in the Operating Room. Anesthesiology Clinics*, v. 33, p. 713-730, 2015.

ROCKART, J.F. *Chief executives define their own data needs, Harvard Business Review*, V. 57 N. 2, pp. 81-92, 1979.

ROOS, C. **Seleção De Projeto Six Sigma: Caso Prático Relacionado a Dois Semelhantes.** 2012.

RUNGASAMY, S.; ANTONY, J.; GHOSH, S. *Critical success factors for SPC implementation, The TQM Magazine*, V. 14 N. 4, pp. 217-224, 2002.

SAATY, T. L. *Absolute and relative measurement with the AHP. The most livable cities in the United States. Socio-Economic Plum Science*. V. 20, N. 6, pp. 327-331, 1986.

SAATY, T. L. *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process.* Pittsburgh: RWS Publications, 1996.

SAATY, T. L. *Decision making with the analytic hierarchy process. Katz Graduate School of Business, University of Pittsburgh, Pittsburgh, EUA, International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, 2008.

SAHOO, A. K.; SINGH, N. K.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. *Lean philosophy: Implementation in a forging company. International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 36, p. 451-462, 2008.

SALAH S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J. A. *The integration of Six Sigma and Lean management. International Journal of Lean Six Sigma*, v.1, n.3, p. 249-274, 2010.

SAMOILENKO S., OSEI-BRYSON, K. M. *Using Data Envelopment Analysis (DEA) for monitoring efficiency-based performance of productivity driven organizations: Design and implementation of a decision support system, Omega*, v. 41, p.131-142; 2013.

SAMPAIO, A. R.; LIMA, E. H.; SILVA, R. L. M.; NARDI, P. C. C. *Application of decision tree for the production of orange: a proposal plan on the farm Recanto das Águas. Custos e @gronegócio on-line*, v. 9, n. 4, p. 196-231, ISSN 1808-2882, 2013.

SARGENT, R.G. *Validation and verification of simulation models. In. Winter Simulations Conference*, Miami. *Proceedings*, Miami, FL, USA, 2008.

SAURIN, T. A.; RIBEIRO, J. L. D.; VIDOR, G. *A framework for assessing poka-yoke devices. Journal of Manufacturing Systems*, v. 31, p. 358-366, 2012.

SAVOLAINEN, P.; AHONEN, J. J.; RICHARDSON, I. *Software development project success and failure from the supplier's perspective: A systematic literature review. International Journal of Project Management*, v. 30, n. 4, p. 458-469, 2011.

SCHELLER, A. C.; MIGUEL, P. A. C. *Adoção do Six Sigma e Lean Production em uma empresa de manufatura. Revista Produção Online*, Florianópolis, SC, v.14, n. 4, p.1316-1347, 2014.

SCHROER, B. J. *Simulation as a Tool in Understanding the Concepts of Lean Manufacturing*. *Simulation*, v. 80, p. 171-175, 2004.

SCINTO, P. R. *Statistical engineering examples in the engine oil additive industry*. *Quality Engineering*, v. 23, p. 125-133, 2011.

SEBASTIÃO, R. P. R. *Solving Unstructured Classification Problems with Multicriteria Decision Aiding*. Dissertação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2011.

SEIM, K. S.; FER, I.; BERNTSEN, J. *Regional simulations of the Faroe Bank Channel overflow using a σ -coordinate ocean model*. *Ocean Modelling*, v. 35, p. 31-44, 2010.

SENTHILKUMAR, T.; KARTHI, S.; DEVADASAN, S. R.; SIVARAM, N. M.; SREENIVASA, C. G.; MURUGESH, R. *Implementation of DMAIC methodology in supply chains to reduce customer end-rejections: A case study in an Indian SME*. *International Journal of Productivity and Quality Management*, v. 10, p. 388-409, 2012.

SERRANO, I.; OCHOA, C.; DE CASTRO, R. *Evaluation of value stream mapping in manufacturing system redesign*. *International Journal of Production Research*, v. 46, p. 4409-4430, 2008.

SETH, D.; GUPTA, V. *Application of value stream mapping for Lean operations and cycle time reduction: An Indian case study*. *Production Planning and Control*, v. 16, p. 44-59, 2005.

SETH, D.; SETH, N.; GOEL, D. *Application of value stream mapping (VSM) for minimization of wastes in the processing side of supply chain of cottonseed oil industry in Indian context*. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 19, p. 529-550, 2008.

SETIJONO, D. *The application of modified 'Defect Per Million Opportunities' (DPMO) and sigma level to measure service effectiveness*. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, v. 5, p. 173-186, 2009.

SEYED-HOSSEINI, S. M.; SAFAEI, N.; ASGHARPOUR, M. J. *Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique*. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 91, p. 872-881, 2006.

SHAFER, S. M.; BOELLER, S. B. *The effects of Six Sigma on corporate performance: an empirical investigation*. *Journal of operations management*, v.30, n.7-8, p.521-532, nov., 2012.

SILVA, A. F.; RIBEIRO, I.M.; LOPES, P.; MARINS, F. A. S. *Uma Investigação Sobre os Modelos da Programação de Metas Sob Certeza e Sob Incerteza: Aplicação a Problemas de Planejamento Agregado em Usinas sucroalcooleiras*. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia De Produção, Belo Horizonte**, v. 1, p. 1-10, 2011.

SILVA, A. F.; MARINS, F. A. S. *Tratamento da incerteza no planejamento da colheita de cana de açúcar utilizando um modelo de programação por metas multiescolha revisado*. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 1741-1751, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

SILVA, V. B. S.; SCHRAMM, F.; CARVALHO, H. R. C. **O uso do método PROMETHEE para seleção de candidatos à bolsa-formação do Pronatec.** UAEP, Campina Grande, Brasil, 2013.

SILVA, F. F. **Procedimentos para análise de lucratividade de produtos no setor de autopeças metálicas.** Trabalho de Graduação, UNESP, Guaratinguetá, 86 f., 2013.

SIMON, A.; KOVÁCS, K.; GÜR, C. H.; PIECZONKA, T.; GÁCSI, Z. *Description of the PM process by using Ishikawa-analysis.* **Materials Science Forum**, v. 752, p. 48-56, 2013.

SLOMP, J.; BOKHORST, J. A. C.; GERMS, R. *A Lean production control system for high-variety/low-volume environments: A case study implementation.* **Production Planning and Control**, v. 20, p. 586-595, 2009.

SMITH, G.; POTEAT-GODWIN, A.; HARRISON, L. M.; RANDOLPH, G. D. *Applying Lean principles and kaizen rapid improvement events in public health practice.* **Journal of Public Health Management and Practice**, v. 18, p. 52-54, 2012.

SMITH, R. P.; EPPINGER, S. D. *Identifying controlling features of engineering design iteration.* **Management Science**, v. 43, p. 276-293, 1997.

SNEE, R.D. *Lean Six Sigma - getting better all the time.* **International Journal of Lean Six Sigma**. 1 (1), 9e29, ISSN: 2040-4166, 2010.

SO, S.; SUN, H. *An extension of IDT in examining the relationship between electronic-enabled supply chain integration and the adoption of Lean production.* **International Journal of Production Research**, v. 49, p. 447-466, 2011.

SOHAL, R. J. H. A. *A conceptual model for the successful deployment of Lean Six Sigma,* **International Journal of Quality & Reliability Management**, V. 29 Iss 1 pp. 54 - 70, 2012.

SPECTOR, R. E. *How constraints management enhances Lean and Six Sigma.* **Supply Chain Management Review**, v.10, n.1, p.42-7, 2006.

SPIEGELHALTER, D. J. *Funnel plots for comparing institutional performance.* **Statistics in Medicine**, v. 24, p. 1185-1202, 2005.

SPINA, C. **Aplicação de ferramentas Lean Six Sigma e simulação computacional ao aperfeiçoamento de serviços: Roteiro de referência e Estudo de caso.** 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2007.

STARR, T. *Customers are trainable only if positive reinforcement is used.* **Instant and Small Commercial Printer**, v. 23, 2004.

ŠTEFANIĆ, N.; TOŠANOVIĆ, N.; ČALA, I. *Applying the Lean system in the process industry.* **Strojarstvo**, v. 52, p. 59-67, 2010.

- STONE, R.B.; TUMER, I.Y.; VAN, W. M. *The function-failure design method. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, v. 127, p. 397-407, 2005.
- STUMP, B.; BADURDEEN, F. *Integrating Lean and other strategies for mass customization manufacturing: A case study. Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 23, p. 109-124, 2012.
- SUBRAMONIAM, R.; ABUSAMRA, G.; HOSTETLER, D. *Lean engineering implementation challenges for automotive remanufacturing. SAE Technical Papers*, p. 1-19, 2009.
- SUEYOSHI, T.; GOTO, S. *DEA environmental assessment of coal fired power plants: Methodological comparison between radial and non-radial models, Energy Economics*, v. 34, n. 6, November 2012, p. 1854-1863, 2012.
- SULLIVAN, W. G.; MCDONALD, T. N.; VAN AKEN, E. M. *Equipment replacement decisions and Lean manufacturing. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 18, p. 255-265, 2002.
- SURESH, K. B.; SYATH, A. S. *Implementation of Lean tools and techniques in an automotive industry. Journal of Applied Sciences*, v. 12, p. 1032-1037, 2012.
- SUTTON, R.I.; HARGADON, A. *Brainstorming groups in context: Effectiveness in a product design firm, Administrative Science Quarterly*. v. 41, p. 685-718, 1996.
- SUYAMA, S. *Regional expansion of the shikki production area in Wajima City, Ishikawa Prefecture. Geographical Review of Japan, Series A*, v. 66 A, p. 597-618, 1993.
- TAGHIZADEGAN, S. *Chapter 1: Introduction to essentials of Lean Six Sigma (6 σ) strategies: Lean Six Sigma: Six Sigma Quality with Lean speed. Essentials of Lean Six Sigma*, p.1-6, 2006.
- TARANTINO, A. *Risk management for the next generation. Industrial Management*, v. 51, p. 14-17, 2009.
- TARANTINO, A. *Risk management for the Next Generation. Industrial Management*, v. 53, p. 14-17, 2011.
- TENERA, A.; PINTO, L. C. *A Lean Six Sigma (LSS) project management improvement model. Procedia - Social and Behavioral Sciences*, V. 119, p. 912 – 920, 2014.
- TEO, K. J. L. K. *A conceptual framework for critical success factors of Lean Six Sigma, International Journal of Lean Six Sigma*, v. 1, n. 3 pp. 191 - 215, 2010.
- TESTANI, M. V.; RAMAKRISHNAN, S.; ORTH, D. *Integrating people, process and technology for a sustainable Lean transformation using systems thinking. 30th Annual National Conference of the American Society For Engineering Management 2009*, ASEM, pp 528-538., 2009.
- THOMAS, A.; BARTON, R. *Using the Quick Scan Audit Methodology (QSAM) as a precursor towards successful Lean Six Sigma implementation, International Journal of Lean Six Sigma*, v. 2, n. 1, pp.41-54, 2011.

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.

THOMAS, A.; LEWIS, G. *Developing an SME-based integrated TPM-Six Sigma strategy. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, v. 3, p. 228-247, 2007.

TOMMELEIN, I. D. *'Poka yoke' or quality by mistake proofing design and construction systems. Proceedings of IGLC16: 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, p. 195-205, 2008.

TOSARKANI, B. M., AMIN, S. H. *A possibilistic solution to configure a battery closed-loop supply chain: Multi-objective approach. Expert Systems with Applications*, v. 92, p. 12-26, 2018.

TRAD, S.; MAXIOMIANO, A. C. A. *Six Sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação. Revista de administração contemporânea*, v.13, n.4, out./dez., 2009.

TSANG, A. H. C. *Condition-based maintenance: Tools and decision making. Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 1, p. 3-17, 1995.

TUA SITORUS, P. M. *Quality planning improvement with Lean Six sigma approach and economic valuation with willingness to pay: Case in PT Telekomunikasi Indonesia. APBITM 2011 – Proceedings 2011 IEEE International Summer Conference of Asia Pacific Business Innovation and Technology Management*, p. 172-175, 2011.

TURRAS, P. M. C. C. D. **Estudo e proposta de otimização de processo industrial com recurso A Ferramentas Lean Six Sigma**. 2009. 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

UITDEHAAG, J. C. M. *The seven types of drug discovery waste: toward a new Lean for the drug industry. Drug discovery today*, v.16, n.9-10, p.369–371, 2011.

ULEWICZ, R. *Practical application of quality tools in the cast iron foundry. Manufacturing Technology*, v. 14, p. 104-111, 2014.

UYSAL, F.; TOSUN, Ö. *Fuzzy TOPSIS-based computerized maintenance management system selection. Journal of Manufacturing Technology*, v. 23, n. 2, p. 212-228, 2012.

UZSOY, R.; LEE, C. -Y.; MARTIN-VEGA, L. A. *A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry part h: Shop-floor control. IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, v. 26, p. 44-55, 1994.

VAIS, A.; MIRON, V.; PEDERSEN, M.; FOLKE, J. *"Lean and Green" at a Romanian secondary tissue paper and board mill - Putting theory into practice. Resources, Conservation and Recycling*, v. 46, p. 44-74, 2006.

VARZAKAS, T. H. *Application of ISO 22000, failure mode, and effect analysis (FMEA) cause and effect diagrams and pareto in conjunction with HACCP and risk assessment for processing of pastry products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 51, p. 762-782, 2011.

VELASQUEZ, M.; HESTER, P. *An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. International Journal of Operations Research*, v. 10, n. 2, p. 56–66, 2013.

VERHELST, S.; SIERENS, R. *Combustion studies for PFI hydrogen IC engines. SAE Technical Papers*, 2007.

VILAS-BOAS, C. de L. **Modelo Multicritérios de Apoio à Decisão Aplicado ao Uso Múltiplo de Reservatórios: estudo da barragem do Ribeirão João Leite**. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Departamento de Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/vilas_boas.pdf>. Acesso em: 09 maio 2016.

VINOD, M.; DEVADASAN, S. R.; SUNIL, D. T.; THILAK, V. M. M. *Six Sigma through Poka-Yoke: a navigation through literature arena. International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 81, p. 315-327, 2015.

WAGNER, M. *Empirical influence of environmental management on innovation: Evidence from Europe. Ecological Economics*, v. 66, p. 392-402, 2008.

WAN, H. -D.; LIAO, Y. -C.; KURIGER, G. *Redesigning a Lean simulation game formore flexibility and higher Efficiency. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 2012.

WAN, S.; XU, G; DONG, J. *Supplier selection using ANP and ELECTRE II in interval 2-tuple linguistic environment. Information Sciences*, v. 385–386, p. 19-38, 2017.

WANG, X.; CHEN, Y.; SWEENEY, S.; LEE, J.; ANNA, R.; PEKARIK, J.; SANDERSON, D.; WANG, D.. *Circuit enablement for SiGe BiCMOS and RFCMOS technologies. ICSICT-2006: 2006 8th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology, Proceedings*, v. , p. 1260-1263, 2007.

WANG, J. J.; JING, Y. Y.; ZHANG, C. -F.; ZHAO, J. -H. *Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, p. 2263–2278, 2009.

WANG, M.; YU, S.; FENG, Q.; CHU, J. *Research on the key technology of product design on basis of Six Sigma. 2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, CAID and CD'2010*, v. 1, p. 344-348, 2010.

WANG, X.; CONBOY, K.; CAWLEY, O. *"Leagile" software development: An experience report analysis of the application of Lean approaches in agile software development. Journal of Systems and Software*, v. 85, p. 1287-1299, 2012.

WASIM, A.; SHEHAB, E.; ABDALLA, H.; AL-ASHAAB, A.; SULOWSKI, R.; ALAM, R. *An innovative cost modelling system to support Lean product and process development. International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 65, p. 165-181, 2013.

WASSERMAN, G. S. *On how to prioritize design requirements during the QFD planning process. IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, v. 25, p. 59-65, 1993.

WAXER, C. 2004. *Is Six Sigma just for large companies? What about small companies?* Disponível em: <<https://www.iSixsigma.com/new-to-Six-sigma/getting-started/Six-sigma-just-large-companies-what-about-small-companies/>>, acesso em 20 de Junho de 2016.

WENGER, A. *Analysis of travel bloggers' characteristics and their communication about Austria as a tourism destination. Journal of Vacation Marketing*, v. 14, p. 169-176, 2008.

WOLD, S.; KETTANEH, N.; FRIDÉN, H.; HOLMBERG, A. *Modelling and diagnostics of batch processes and analogous kinetic experiments. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 44, p. 331-340, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. *Lean Thinking*. New York: Simon & Schuster, 1996.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. *The Machine That Changed The World*. MacMillian Publishing Company, 1990.

WOODALL, W. H.; SPITZNER, D. J.; MONTGOMERY, D. C.; GUPTA, S. *Using control charts to monitor process and product quality profiles. Journal of Quality Technology*, v. 36, p. 309-320, 2004.

WRAIGE, H. *Knowledge boosters. Professional Engineering*, v. 17, p. 45-, 2004.

WU, P.; LOW, S.P. *Lean management and low carbon emissions in precast concrete factories in Singapore. Journal of Architectural Engineering*, v. 18, p. 176-186, 2012.

WU, P.; LOW, S. P.; JIN, X. *Identification of non-value adding (NVA) activities in precast concrete installation sites to achieve low-carbon installation. Resources, Conservation and Recycling*, v. 81, p. 60-70, 2013.

XU, K.; TANG, L. C.; XIE, M.; HO, S. L.; ZHU, M. L. *Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. Reliability Engineering and System Safety*, v. 75, p. 17-29, 2002.

YANG, Z.; BONSALE, S.; WANG, J. *Fuzzy rule-based Bayesian reasoning approach for prioritization of failures in FMEA. IEEE Transactions on Reliability*, v. 57, p. 517-528, 2008.

YANO, K.; SASAKI, Y.; RIKINO, K.; SEKI, K. *Top-down pass-transistor logic design. IEEE Journal of Solid-State Circuits*, v. 31, p. 792-803, 1996.

YE, W. M.; LIU, W. Y.; CHEN, X.; HAN, F.; ZHU, J. F.; DAI, P. *Study on measurement system analysis and its application in the data analysis of LSS. Applied Mechanics and Materials*, v. 380-384, p. 943-946, 2013.

YERIAN, L. M.; SEESTADT, J. A.; GOMEZ, E. R.; MARCHANT, K. K. *A collaborative approach to Lean laboratory workstation design reduces wasted technologist travel. American Journal of Clinical Pathology*, v. 138, p. 273-280, 2012.

YU, H.; AL-HUSSEIN, M.; TELYAS, A. *Lean implementation for building modular production. Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering*, v. 1, p. 83-93, 2008.

YU, H.; MACGREGOR, J. F. *Multivariate image analysis and regression for prediction of coating content and distribution in the production of snack foods. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 67, p. 125-144, 2003.

YU, H.; TWEED, T.; AL-HUSSEIN, M.; NASSERI, R. *Development of Lean model for house construction using value stream mapping. Journal of Construction Engineering and Management*, v. 135, p. 782-790, 2009.

ZAIM, S.; TURKYILMAZ; ACAR, M. F.; AL-TURKI, U.; DEMIREL, O. F. *Maintenance strategy selection using AHP and ANP algorithms: a case study. Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 18, n. 1, 2012.

ZAIM, S.; SEVKLI, M.; CAMGÖZ-AKDAG, H.; DEMIREL, O. F.; YAYLA, A. Y.; DELEN, D. *Use of ANP weighted crisp and fuzzy QFD for product development. Expert Systems with Applications*, 2014.

ZHANG, Z.; ZHANG, S.; GENG, S.; JIANG, Y.; LI, H.; ZHANG, D. *Application of decision trees to the determination of the year-end level of a carryover storage reservoir based on the iterative dichotomizer 3. Electrical Power and Energy Systems*, v. 64, p. 375–383, 2015.

ZHANG, A. *Quality improvement through Poka-Yoke: From engineering design to information system design. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, v. 8, p. 147-159, 2014.

ANEXO 3 – MODELOS DE A3 UTILIZADOS NA PESQUISA

ANEXO 3a – Modelo de A3 utilizado pela Empresa A

Título do projeto:																									
Contexto:	Local:																								
	Data:																								
	Autor:																								
Situação atual	Contramedidas																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Plano de Ação</th> </tr> <tr> <th>O quê?</th> <th>Quem?</th> <th>Quando?</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Plano de Ação				O quê?	Quem?	Quando?	Status																
Plano de Ação																									
O quê?	Quem?	Quando?	Status																						
Análise	Acompanhamento e Resultados																								

ANEXO 3b – Novo modelo de A3 proposto para a Empresa A, customizado para facilitar ao grupo de melhorias

FRETE		VERSO	
Título do projeto:		Dados relevantes do projeto	
Contexto:	Local:	A. Resultados potenciais	A. Problema a ser resolvido
	Data:	1. Abrangência	5. Tempo de Payback [Custos implementação/(Retorno financeiro/mês)] [Custos implementação/(Retorno financeiro/mês)]
	Autor:	<input type="checkbox"/> Foco na área implementada	Tempo de payback (meses):
		<input type="checkbox"/> Cliente interno	
		<input type="checkbox"/> Cliente externo	
Situação atual	Contramedidas	2. Atendimento aos pilares	6. Mapeamento de risco
		<input type="checkbox"/> Atende 1 pilar	Quais problemas possíveis de acontecer?
		<input type="checkbox"/> Atende 2 pilares	
		<input type="checkbox"/> Atende 3 pilares	Existe possibilidade de cancelamento?
		<input type="checkbox"/> Atende todos os pilares	
		3. Retorno financeiro	Apresentado aos stakeholders?
		Ganho estimado do projeto (R\$):	
		4. Custo do projeto	Escopo aprovado pelo grupo de melhorias?
		Custos estimados do projeto (R\$):	
			7. Tempo de conclusão estimado:
			Tempo estimado de conclusão (meses):
Análise	Acompanhamento e Resultados		