

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UM MODELO *FUZZY*-GTA-DEMATEL PARA A AVALIAÇÃO INTEGRADA DO
NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA**

PAULO GUILHERME DE FRANÇA ALCANTARA

JOÃO PESSOA

2017

PAULO GUILHERME DE FRANÇA ALCANTARA

**UM MODELO *FUZZY*-GTA-DEMATEL PARA A AVALIAÇÃO INTEGRADA DO
NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Costa Santos

JOÃO PESSOA

2017

A347m Alcantara, Paulo Guilherme de França.
Um modelo *Fuzzy*-GTA-DEMATEL para a avaliação
integrada do nível de implementação da produção enxuta /
Paulo Guilherme de França Alcantara. - João Pessoa, 2017.
150 f. : il. -

Orientador: Dr. Luciano Costa Santos.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT/PPGEP

1. Engenharia de produção. 2. Produção enxuta. 3. Sistema
de produção. I. Título.

UFPB/BC

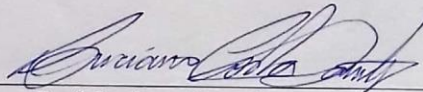
CDU - 62:658.5(043)

**UM MODELO FUZZY-GTA-DEMATEL PARA A AVALIAÇÃO INTEGRADA DO
NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA**

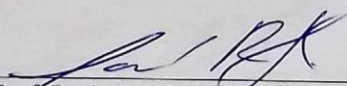
PAULO GUILHERME DE FRANÇA ALCANTARA

Esta Dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

João Pessoa, 14 de agosto de 2017.



Prof. Luciano Costa Santos, Dr.
(Orientador)
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Paulo Rotela Junior, Dr.
(Examinador interno)
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Milton Vieira Junior, Dr.
(Examinador externo)
Universidade Nove de Julho

Agradeço primeiramente ao meu Deus que, durante toda a pesquisa, me deu toda a capacidade e proveu todas as coisas para que tudo fosse concluído com eficiência.

Aos meus pais, Ruy e Maria das Neves, por me educarem e ensinarem a mim e a meu irmão Claudio o que é ser uma pessoa responsável e de caráter.

À minha esposa Denise, por me apoiar em cada momento, desde o momento da decisão por pleitear uma vaga como mestrando até hoje. Durante o processo do mestrado fomos namorados, noivos e concluímos a pesquisa como marido e mulher.

Não poderia deixar de agradecer aos meus amigos do PPGE, os quais compartilharam comigo bons e felizes momentos.

Um agradecimento especial ao meu orientador Luciano Santos, que me auxiliou magistralmente em todas as dúvidas e momentos durante este período. Também a todos os amigos do grupo de pesquisa GESP, sob a coordenação da professora Claudia Gohr.

Deus abençoe a todos vocês, amigos-irmãos, e sei que Ele os ama e os espera de braços abertos para conduzi-los pelo verdadeiro caminho, o de vida em abundância!

Sl 116.12: Que darei eu ao SENHOR, por todos os benefícios que me tem feito?

RESUMO

A Produção Enxuta (PE) pode ser definida como um sistema sociotécnico integrado de abordagem multidimensional que compreende princípios e práticas, cujo principal objetivo é a redução de custos por meio da eliminação de desperdícios. O sucesso da PE no Japão e no Ocidente levou muitas organizações a tentar implantá-la. Porém, alguns fatores levaram ao fracasso de sua implantação em muitas empresas. Ao analisar estes fatores, constatou-se que essas empresas desconsideraram dois fatos: a presença de princípios norteadores para a execução das práticas enxutas e a interação contínua e sinérgica entre tais práticas. Diante desse contexto surgiu a necessidade de propor um modelo que avaliasse, de modo integrado, o nível de implementação da PE nas empresas. Para isso, primeiramente realizou-se um levantamento sobre os artigos que avaliaram a PE considerando as práticas enxutas, de modo a entender como foram feitas as avaliações e quais ferramentas quantitativas foram utilizadas e, com base nesta percepção, elencar os requisitos necessários para desenvolver o modelo. Após tal verificação, esta pesquisa propôs um modelo referencial *fuzzy*-GTA-DEMATEL para avaliação da PE, composto por 4 fatores e 20 subfatores utilizados na literatura. Para testar sua aplicabilidade, realizou-se um estudo de caso em uma montadora do setor automotivo para avaliar o sistema produtivo, além de utilização do Delphi com 7 especialistas em PE para avaliar as interações entre os elementos. A aplicação do modelo mostrou que a empresa estudada apresentou um forte nível de implementação da PE. Porém, ele também apontou que, a empresa poderia realizar melhorias no fator Gestão de Processos (GP) para alavancar a PE no seu processo produtivo, especificamente nos subfatores Padronização das operações (S_{21}) e Trabalhadores multifuncionais (S_{22}). Desse modo, o modelo referencial é pertinente e adequado para avaliar o nível de implementação da PE de maneira integrada. O modelo também contribuiu para o diagnóstico do estágio atual da PE em uma empresa, além de identificar as prioridades de melhoria. Por fim, a estrutura do modelo configura-se como contribuição, visto que a empresa adotante pode utilizar seus próprios fatores e subfatores com a mesma eficácia.

Palavras-chave: Produção enxuta. Avaliação multiatributo. Sistema integrado.

ABSTRACT

Lean Production (LP) could be defined as an integrated sociotechnical system with a multidimensional approach that includes management principles and practices, whose main objective is to reduce costs by eliminating waste. The success of LP in Japan and Western has led many organizations to try to implement it. However, some factors led to the failure of its implementation in many companies. When analyzing these factors, it was verified that these companies disregarded two facts: the existence of guiding principles for execution of lean practices and the continuous and synergistic interaction among such practices. Given this context, it was necessary to propose a model that would evaluate, in an integrated way, the level of LP implementation in companies. Thereunto, it was carried out a review about the articles concern LP assessment considering lean practices, in order to understand how evaluations were done, and which quantitative tools were used and, based on this perception, list the needed requirements to develop the model. Thereafter, this study proposed a *fuzzy-GTA-DEMATEL* reference model for LP assessment. It was composed of 4 factors and 20 sub-factors used in literature. In order to test its applicability, a case study was carried out at an organisation from automotive sector to evaluate the productive process, as well as applying Delphi with 7 LP specialists to evaluate the interactions between the elements. The model showed that studied company presented a high level of LP implementation. Nevertheless, it also pointed out that the company could make improvements in Process management (PM) factor to leverage the LP in its process, specifically in the sub-factors Standardized operations (S₂₁) and Multifunctional workers (S₂₂). Therefore, it was concluded that referential model is relevant and appropriate to assess the level of LP implementation in addition to identifying priorities for improvement. The model also contributed to diagnosis of the current LM stage in a company, in addition to identifying improvement priorities. Finally, the structure of model is considered a contribution, since the adopting company can use its own factors and sub-factors with same effectiveness.

Keywords: Lean Production. Multiattribute evaluation. Integrated system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Base sociotécnica da Produção Enxuta	23
Figura 2 – Fluxo da revisão sistemática adotada	36
Figura 3 – Número <i>fuzzy</i> triangular	48
Figura 4 – Número <i>fuzzy</i> trapezoidal	50
Figura 5 – Estruturas do AHP e ANP	53
Figura 6 – Construção do grafo	55
Figura 7 - Grafo de coordenadas DEMATEL	59
Figura 8 – Classificação da metodologia adotada	64
Figura 9 – Fluxo do modelo referencial proposto	65
Figura 10 – Estrutura do <i>Delphi</i> para esta pesquisa	70
Figura 11 – Números <i>fuzzy</i> para as variáveis linguísticas de desempenho	72
Figura 12 – Números <i>fuzzy</i> para as variáveis linguísticas de relações	73
Figura 13 – Exemplo dos grafos e matriz dos fatores	74
Figura 14 – Matriz importância-desempenho.....	79
Figura 15 – Fluxo do processo produtivo da Empresa X	81
Figura 16 – Grafos resultantes do <i>Delphi</i> com os especialistas	89
Figura 17 – Determinação do nível de implementação da PE na Empresa X	95
Figura 18 – Matriz L + C, L – C do fator GLOBAL.....	98
Figura 19 – Matriz L + C, L – C do fator <i>Just-in-time</i>	100
Figura 20 – Matriz L + C, L – C do fator Gestão de Processos	101
Figura 21 – Matriz L + C, L – C do fator <i>Total Quality Management</i>	102
Figura 22 – Matriz L + C, L – C do fator Fatores Humanos	104
Figura 23 – Escala de desempenho dos fatores para a matriz importância-desempenho.....	105
Figura 24 – Matriz importância-desempenho do sistema global.....	106
Figura 25 – Matriz importância-desempenho do fator Gestão de Processos	108
Figura 26 – Nível hipotético de implementação da PE após a simulação	109
Figura 27 – Matriz importância-desempenho hipotética do sistema global.....	110
Figura 28 – Matriz importância-desempenho hipotética do fator Gestão de Processos.....	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conteúdo da estrutura do trabalho.....	21
Quadro 2 – Práticas enxutas	24
Quadro 3 – Levantamento dos <i>bundles</i> utilizados nos estudos sobre PE.....	30
Quadro 4 – Definição dos conceitos dos principais <i>bundles</i> utilizados na literatura	33
Quadro 5 – Perspectivas de avaliação do nível de implementação da PE.....	34
Quadro 6 – Estudos que abordam o tema avaliação da Produção Enxuta.....	39
Quadro 7 – Escopo dos estudos publicados sobre avaliação da Produção Enxuta	41
Quadro 8 – Requisitos do modelo para avaliação do nível de implementação da PE.....	46
Quadro 9 – Escala AHP.....	51
Quadro 10 – Adequação das ferramentas aos requisitos do modelo proposto	61
Quadro 11 – Fatores e subfatores utilizados nesta pesquisa.....	66
Quadro 12 – Escala qualitativa para os desempenhos das práticas enxutas.....	68
Quadro 13 – Variáveis linguísticas das relações entre os elementos	69
Quadro 14 – Números <i>fuzzy</i> triangulares para as variáveis linguísticas de desempenho	72
Quadro 15 – Números <i>fuzzy</i> triangulares para as variáveis linguísticas das relações	73
Quadro 16 - Classificação do nível de implementação da PE adotada nesta pesquisa	77
Quadro 17 – Valores atribuídos às variáveis linguísticas de desempenho	79
Quadro 18 – Valores atribuídos às importâncias relativas	80
Quadro 19 – Dados dos entrevistados da Empresa X.....	82
Quadro 20 – Respostas dos avaliadores quanto ao desempenho dos subfatores.....	84
Quadro 21 – Avaliação do E1 acerca das relações entre os fatores do modelo	87
Quadro 22 – Critérios para definição da intensidade das relações	89
Quadro 23 – Classificação do nível de implementação da PE adotada nesta pesquisa.....	95
Quadro 24 – Escalas de importância relativa para a matriz importância-desempenho	106
Quadro 25 – Escalas de importância relativa de GP para a matriz importância-desempenho.....	107
Quadro 26 - Evolução das avaliações e convergências das relações.....	139
Quadro 27 - Avaliações definitivas dos especialistas.....	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Utilização das práticas enxutas nos 52 artigos revisados	30
Tabela 2 – Utilização dos elementos como <i>bundles</i>	32
Tabela 3 – Comparação par a par entre os elementos	51
Tabela 4 – Normalização dos valores.....	52
Tabela 5 – Exemplo de números <i>fuzzy</i> dos resultados do DEMATEL	75
Tabela 6 – Evolução da participação dos especialistas no <i>Delphi</i>	85
Tabela 7 – Convergência individual dos participantes por rodada.....	86
Tabela 8 – Números <i>fuzzy</i> dos permanentes	90
Tabela 9 – Números <i>fuzzy</i> logarítmicos dos permanentes dos fatores	91
Tabela 10 – Números <i>fuzzy</i> logarítmicos das escalas de classificação.....	91
Tabela 11 – Matriz de relação direta inicial GLOBAL	92
Tabela 12 – Matriz de relação direta inicial normalizada GLOBAL	92
Tabela 13 – Matriz de relação total T GLOBAL	92
Tabela 14 – Números <i>fuzzy</i> para o caso real e escalas de classificação do fator GLOBAL.....	93
Tabela 15 – Valores defuzzificados dos fatores	94
Tabela 16 – Valores defuzzificados da matriz total T do fator GLOBAL	97
Tabela 17 – Valores defuzzificados de L + C e L – C do fator GLOBAL.....	98
Tabela 18 – Valores defuzzificados de L + C e L – C do fator JIT.....	99
Tabela 19 – Valores defuzzificados de L + C e L – C do fator GP.....	100
Tabela 20 – Valores defuzzificados de L + C e L – C do fator TQM.....	102
Tabela 21 – Valores defuzzificados de L + C e L – C do fator FH.....	103
Tabela 22 – Indicadores L + C dos fatores para construção dos intervalos de importância ..	105
Tabela 23 – Simulação de novos valores de desempenho alcançados pela Empresa X.....	108
Tabela 24 – Permanentes hipotéticos após a simulação	109
Tabela 25 - Matriz de relação direta inicial JIT.....	146
Tabela 26 - Matriz de relação direta inicial normalizada JIT	146
Tabela 27 - Matriz de relação total JIT.....	146
Tabela 28 - Matriz de relação direta inicial GP.....	146
Tabela 29 - Matriz de relação direta inicial normalizada GP	146
Tabela 30 - Matriz de relação total GP	147
Tabela 31 - Matriz de relação direta inicial TQM	147
Tabela 32 - Matriz de relação direta inicial normalizada TQM	147
Tabela 33 - Matriz de relação total TQM	147
Tabela 34 - Matriz de relação direta inicial FH.....	147
Tabela 35 - Matriz de relação direta inicial normalizada FH	148
Tabela 36 - Matriz de relação total FH.....	148
Tabela 37 - Matriz de relação direta inicial GLOBAL.....	148
Tabela 38 - Matriz de relação direta inicial normalizada GLOBAL.....	148
Tabela 39 - Matriz de relação total GLOBAL.....	148
Tabela 40 - Números <i>fuzzy</i> para o caso real e escalas de classificação do fator JIT	149
Tabela 41 - Números <i>fuzzy</i> para o caso real e escalas de classificação do fator GP	149

Tabela 42 - Números <i>fuzzy</i> para o caso real e escalas de classificação do fator TQM.....	149
Tabela 43 - Números <i>fuzzy</i> para o caso real e escalas de classificação do fator FH	150
Tabela 44 - Números <i>fuzzy</i> para o caso real e escalas de classificação do fator GLOBAL ...	150
Tabela 45 - Matriz de relação total GLOBAL defuzzificada	151
Tabela 46 - Matriz de relação total JIT defuzzificada	151
Tabela 47 - Matriz de relação total GP defuzzificada	151
Tabela 48 - Matriz de relação total TQM defuzzificada	151
Tabela 49 - Matriz de relação total FH defuzzificada	151

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição dos estudos em função das perspectivas de avaliação	37
Gráfico 2 – Ferramentas usadas em estudos considerando práticas enxutas como perspectiva	37
Gráfico 3 – Evolução anual dos artigos publicados	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*
ANN – *Artificial Neural Network*
ANP – *Analytic Network Process*
APG – *Atividades de Pequenos Grupos*
BNP – *Best Non-Fuzzy Performance*
CEP – *Controle Estatístico do Processo*
CFCS – *Converting the Fuzzy Data into Crisp Scores*
CQZD – *Controle de Qualidade Zero Defeito*
DEA – *Data Envelopment Analysis*
DEMATEL – *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*
GTA – *Graph Theoretic Approach*
IMVP – *International Motor Vehicle Program*
JIT – *Just-in-time*
LESAT – *Lean Enterprise Self-Assessment Tool*
MFV – *Mapeamento do Fluxo de Valor*
MIT – *Massachusetts Institute of Technology*
PE – *Produção Enxuta*
STP – *Sistema Toyota de Produção*
TPM – *Manutenção Produtiva Total*
TQM – *Total Quality Management*
TRF – *Troca Rápida De Ferramentas*
WIP – *Work-In-Process*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.2 JUSTIFICATIVA.....	19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2 PRODUÇÃO ENXUTA	22
2.1 CONTEXTO DA PRODUÇÃO ENXUTA	22
2.2 PRÁTICAS DA PRODUÇÃO ENXUTA	24
2.2.1 INTERAÇÕES ENTRE PRÁTICAS DA PRODUÇÃO ENXUTA	26
2.2.2 <i>LEAN BUNDLES</i>	29
2.3 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA	33
2.3.1 VISÃO GERAL DOS ESTUDOS PUBLICADOS.....	35
2.3.2 REQUISITOS PARA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA	45
2.4 FERRAMENTAS QUANTITATIVAS PARA O <i>LEAN ASSESSMENT</i>	47
2.4.1 LÓGICA <i>FUZZY</i>	47
2.4.2 <i>ANALYTIC HIERARCHY PROCESS</i> (AHP)	50
2.4.3 <i>ANALYTIC NETWORK PROCESS</i> (ANP).....	52
2.4.4 <i>GRAPH THEORETIC APPROACH</i> (GTA)	54
2.4.5 <i>DECISION MAKING TRIAL AND EVALUATION LABORATORY</i> (DEMATEL).....	57
2.4.6 <i>DATA ENVELOPMENT ANALYSIS</i> (DEA)	60
2.4.7 PERTINÊNCIA DAS FERRAMENTAS AOS REQUISITOS PROPOSTOS.....	61
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	62
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	63
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	63
3.2 MODELO REFERENCIAL PROPOSTO	63
3.2.1 ETAPA 1: DETERMINAÇÃO DOS FATORES E SUBFATORES.....	66
3.2.2 ETAPA 2: SELEÇÃO E COLETA DE DADOS DA EMPRESA E DOS ESPECIALISTAS.....	67
3.2.2.1 Seleção da empresa e entrevista com os avaliadores	67
3.2.2.2 Seleção e pesquisa com os especialistas.....	68
3.2.3 ETAPA 3: ATRIBUIÇÃO DE NÚMEROS <i>FUZZY</i> PARA RESPOSTAS DE ANALISTAS E ESPECIALISTAS..	71
3.2.4 ETAPA 4: EXECUÇÃO DAS FERRAMENTAS GTA E DEMATEL	74
3.2.4.1 Execução do GTA	74
3.2.4.2 Execução do DEMATEL	75
3.2.5 ETAPA 5: ESTABELECIMENTO DE VALOR ÚNICO PARA OS NÚMEROS <i>FUZZY</i> (DEFUZZIFICAÇÃO) ..	76

3.2.6 ETAPA 6: DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA PE E CLASSIFICAÇÃO DAS PRÁTICAS	77
3.2.7 ETAPA 7: PRIORIZAÇÃO DE MELHORIAS	78
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	80
4 RESULTADOS	81
4.1 ETAPA 2: SELEÇÃO E COLETA DE DADOS (EMPRESA E ESPECIALISTAS).....	81
4.1.1 SELEÇÃO DA EMPRESA E COLETA DOS DESEMPENHOS DOS SUBFATORES	81
4.1.2 SELEÇÃO DOS ESPECIALISTAS E COLETA DAS RELAÇÕES ENTRE OS ELEMENTOS	85
4.2 ETAPAS 3 E 4: ATRIBUIÇÃO DE NÚMEROS FUZZY PARA AS VARIÁVEIS COLETADAS E EXECUÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS	88
4.2.1 EXECUÇÃO DO GTA	88
4.2.2 EXECUÇÃO DO DEMATEL	92
4.3 ETAPAS 5 E 6: DEFUZZIFICAÇÃO DOS RESULTADOS E CLASSIFICAÇÃO	93
4.3.1 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA PE	93
4.3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO MODELO QUANTO À IMPORTÂNCIA E À INFLUÊNCIA	96
4.4 ETAPA 7: PRIORIZAÇÃO DE MELHORIAS	104
4.4.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	108
5 CONCLUSÕES.....	112
5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS.....	112
5.2 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA.....	115
5.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	115
5.4 OPORTUNIDADES PARA FUTURAS PESQUISAS	116
REFERÊNCIAS	117
APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA.....	127
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE APLICAÇÃO DO DELPHI	136
APÊNDICE C – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO DELPHI POR RODADA	139
APÊNDICE D – AVALIAÇÕES DOS ESPECIALISTAS.....	143
APÊNDICE E – EXECUÇÃO DA METODOLOGIA DEMATEL	146
APÊNDICE F – VALORES DEFUZZIFICADOS E $\mu(X)$ GTA.....	149
APÊNDICE G – VALORES DEFUZZIFICADOS E $\mu(X)$ MATRIZ T DEMATEL	151

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Toyota de Produção (STP) deu origem à expressão “Produção Enxuta” (PE), do termo inglês *Lean Manufacturing*, o qual se tornou popular no Ocidente por meio do livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, de Womack, Jones e Roos, publicado no ano de 1990. O sistema concentra-se primariamente em reduzir os custos operacionais por meio da eliminação de desperdícios, implicando na redução da variabilidade dos processos.

O sucesso da PE resultou em sua ampla aceitação global nas indústrias de transformação e, mais tarde, foi disseminado para outros segmentos (JASTI; KODALI, 2014). Ela é reconhecida mundialmente pelo excelente desempenho da Toyota e, com isso, Anvari, Zulkifli e Yusuff (2013) afirmam que muitas organizações ao redor do mundo tentaram implantá-la. Entretanto, a falta de uma clara compreensão das suas principais características contribuiu para o fracasso da implantação.

De fato, implantações malsucedidas da PE são comuns. De acordo com Bhasin (2011), a resistência à mudança e a falta de uma cultura organizacional favorável são fatores cruciais para a falha de implantação. Bhasin e Burcher (2006) argumentam que, em muitos casos, as organizações enxergam a PE como um processo ao invés de considerá-la como uma filosofia. Esta afirmação é reforçada por Jayaram, Das e Nicolae (2010), que consideram o sucesso da PE como função de um contexto mais profundo, como a mudança de princípios norteadores, e não atribuído apenas a uma série de práticas visíveis. Seguindo o mesmo pensamento, Bhasin (2011) afirma que a implantação da PE proporciona uma mudança completa na organização e gestão dos processos de uma empresa.

Considerando o aspecto técnico, Marksberry, Badurdeen e Maginnis (2011) acreditam que um dos principais motivos para a implantação malsucedida da PE é a falta de percepção das empresas implantadoras que as práticas enxutas adotadas são interdependentes e sua aplicação é realizada ao longo de toda a empresa. Por exemplo, uma das implicações da produção *just-in-time* é a redução dos tamanhos dos lotes. Logo, será necessário que a empresa desenvolva um método que promova a redução dos tempos de *setup*, que viabilizará a produção com lotes reduzidos.

É importante, contudo, salientar que a implantação de uma prática enxuta depende das características do ambiente de produção da empresa e, portanto, as organizações não necessitam implantar os mesmos conjuntos de práticas (SHAH; WARD, 2003).

Além da percepção das interdependências entre as práticas enxutas, outro fator de sucesso é a avaliação do progresso da implementação da PE (BHASIN, 2011; VINODH;

CHINTHA, 2011). Vilar (2014) vai mais além, afirmando que um dos maiores desafios da PE é manter o sistema enxuto ao longo do tempo, e não apenas implantá-lo. Dessa forma, um dos fatores que viabilizam a implantação bem-sucedida da PE é a avaliação da evolução do sistema durante e após a sua implantação (NETLAND; SCHLOETZER; FERDOWS, 2015). Por isso, uma organização que implantou ou está implantando a PE precisa estar preparada para avaliar o nível de sua evolução (WALTER; TUBINO, 2013).

Almomani *et al.* (2014) afirmam que a avaliação da PE é o primeiro passo adotado por todos os modelos de implantação do *lean*. Ela é uma importante ferramenta no auxílio da organização em identificar qual seu nível atual de implementação das práticas enxutas (TAJ; MOROSAN, 2011; ALMOMANI *et al.*, 2014). De acordo com Taj (2008) e Thanki e Thakkar (2014), é necessário que a organização identifique seu nível atual para melhorar suas operações enxutas posteriormente.

A literatura apresenta um índice que representa o nível de implementação da PE em uma empresa (WONG; IGNATIUS; SOH, 2012). Este índice é chamado de *leanness* (VINODH; VIMAL, 2012; ALMOMANI *et al.*, 2014). Vimal e Vinodh (2013) afirmam que o cálculo do *leanness* se tornou bastante relevante ultimamente, devido ao que ele representa. Conforme citado por Anvari, Zulkifli e Yusuff (2013), o nível de *leanness* de um sistema pode ser quantificado e medido por meio da comparação do estado atual com o melhor e pior casos.

A avaliação do nível de implementação da PE torna-se, então, fundamental, pois este nível é tratado como um indicador de desempenho que reflete a excelência da organização sob a perspectiva enxuta (VINODH; PRAKASH; SELVAN, 2011). Porém, Bhasin (2011) destaca a dificuldade que muitas empresas possuem em avaliar o nível de implementação da PE internamente. Isso pode ser dado pelo argumento de que geralmente os indicadores utilizados na avaliação não consideram a PE como uma abordagem multidimensional (DOOLEN; HACKER, 2005; BHASIN, 2011).

A visão multidimensional da avaliação da PE corrobora as definições de Shah e Ward (2003) e Doolen e Hacker (2005) da PE como um sistema integrado que abrange uma variedade de práticas de gestão. Shah e Ward (2003) complementam explicando que a essência da PE consiste das práticas serem executadas em sinergia para gerar um sistema racionalizado e de alta qualidade, que atenda à demanda requerida com pouco ou nenhum desperdício.

Para Bhasin (2011), o sistema de PE é construído pelas interações entre seus elementos, sendo, portanto, os elementos e suas interações considerados como um todo, e não

apenas individualmente. Chauhan e Singh (2012) concluem que isso reflete a complementaridade dos elementos da PE, visto que se uma melhoria é feita em um, o outro elemento também pode ser melhorado.

Portanto, a visão da PE como um sistema integrado deve refletir no esforço coletivo de implementação, inclusive nos procedimentos de avaliação que permitem acompanhar o seu progresso. Assim, ao avaliar o nível de implementação da PE ao longo do tempo, uma organização necessita considerar a influência que uma prática enxuta exerce sobre outras.

Diante do contexto apresentado, surgiu a necessidade de se propor um modelo referencial que avaliasse, de modo integrado, o nível de implementação da Produção Enxuta nas empresas. O modelo foi classificado como referencial, pois foi desenvolvido com o intuito de atender a todos os requisitos estabelecidos, com base na literatura, para que uma avaliação seja adequada (LUCATO, 2006).

Com isso, esta pesquisa buscou responder ao seguinte questionamento: **Como avaliar o nível de implementação da Produção Enxuta considerando a integração de suas práticas?**

Para responder a essa pergunta, foi desenvolvido um modelo referencial que utilizou as seguintes ferramentas: lógica *fuzzy*, *Graph Theoretic Approach* (GTA) e *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL).

A lógica *fuzzy*, até o momento, é a ferramenta quantitativa mais utilizada na avaliação da PE, como, por exemplo, por Singh, Garg e Sharma (2010), Vinodh e Vimal (2012), Matawale, Datta e Mahapatra (2015) e Maasouman e Demirli (2015), em todos os casos para avaliar o nível de implementação da Produção Enxuta, porém apenas o segundo e terceiro utilizaram a mesma metodologia de execução.

O GTA, apesar da sua pertinência ao modelo proposto, foi utilizado apenas por Gurumurthy, Mazumdar e Muthusubramanian (2013) para avaliar a prontidão de uma empresa para implantar a Produção Enxuta.

O DEMATEL foi aplicado por Seyedhosseini *et al.* (2011) – para traçar um mapa estratégico da empresa a partir da análise das relações entre seus objetivos e prioridades *lean* – e Azadeh *et al.* (2015) – juntamente com outras ferramentas quantitativas como a lógica *fuzzy*, o *Data Envelopment Analysis* (DEA) e o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para avaliar e otimizar o nível de implementação da Produção Enxuta.

Os detalhes da seleção dessas ferramentas foram explicados no Capítulo 2.

1.1 OBJETIVOS

Considerando o assunto abordado e a problemática em questão, foram elaborados objetivos com a finalidade de auxiliar no cumprimento das etapas da pesquisa.

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo referencial de avaliação do nível de implementação da Produção Enxuta que considere as interações entre as práticas enxutas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar lacunas e complementaridades dos principais modelos e ferramentas de avaliação da Produção Enxuta apresentados na literatura;
- Estabelecer os requisitos para construção de um modelo que avalie a Produção Enxuta considerando a integração entre suas práticas;
- Avaliar o nível de implementação da Produção Enxuta em uma empresa selecionada para testar a aplicabilidade do modelo proposto.

1.2 JUSTIFICATIVA

Apesar da vasta literatura disponível sobre PE, relativamente pouca atenção tem sido dada a investigar métodos que avaliam sua implementação (WAN; CHEN, 2008; BHASIN, 2011; WALTER; TUBINO, 2013). A grande dificuldade das organizações que adotam a PE consiste da identificação do nível de maturidade da aplicação das práticas enxutas, sendo difícil analisar se estão na direção correta (CAMPOS, 2011). Conforme exposto por Vilar (2014), esse fato pode se tornar um grande obstáculo para a implantação da PE, visto que trata-se de um processo contínuo e que requer meios de acompanhar sua evolução. Alemi e Akram (2013) complementam argumentando que a falta de uma clara compreensão sobre como avaliar a PE e seu desempenho também fez com que muitas empresas falhassem na sua implantação.

Quando uma avaliação da PE é realizada de forma adequada por uma empresa, a mesma adquire a capacidade de fazer uma leitura dos seus processos, enxergando onde e o

quanto precisa melhorar para alcançar um alto grau de implementação da PE (VILAR, 2014). Para que uma avaliação seja adequada, um dos quesitos que se faz necessário é a consideração das interdependências existentes entre as práticas enxutas. Apesar disso, Furlan, Vinelli e Dal Pont (2011) afirmam que, embora algumas das relações entre tais práticas sejam amplamente reconhecidas, o conceito de sinergia entre elas permanece superficial e pouco explorado pela literatura.

Liker (2004) declara que a PE deve manter uma visão holística de modo que esteja totalmente integrada. Jayaram, Das e Nicolae (2010) ratificam esse argumento, pois declararam que as práticas enxutas, quando inter-relacionadas, impactam positivamente o desempenho das organizações. Por estes fatores, a literatura expressa a importância de avaliar as práticas de forma conjunta (SHAH; WARD, 2003).

Nos últimos 20 anos (1996-2015) foram realizadas algumas pesquisas em que abordaram a avaliação da implementação da PE considerando as suas práticas. Entretanto, é importante destacar que apenas os estudos de Saurin, Marodin e Ribeiro (2011), Wong, Ignatius e Soh (2012), Cil e Turkan (2013) e Azadeh *et al.* (2015) consideraram os efeitos sinérgicos entre práticas da PE, confirmando os argumentos de alguns autores sobre o tema, os quais declaram que poucos estudos se concentraram em avaliar as relações de dependência entre as práticas (SHAH; WARD, 2003; JAYARAM; DAS; NICOLAE, 2010; FURLAN; VINELLI; DAL PONT, 2011; MARODIN; SAURIN, 2013; VILAR, 2014).

Ainda assim, os quatro estudos apresentaram diferenças nas suas aplicações e objetivos com relação a presente pesquisa: Saurin, Marodin e Ribeiro (2011) avaliaram apenas células de manufatura. Wong, Ignatius e Soh (2012) consideraram, em seu modelo, os objetivos de desempenho (qualidade, custo e confiabilidade) e relacionaram tais objetivos com alguns elementos enxutos. Cil e Turkan (2013) relacionaram os objetivos estratégicos e os *stakeholders* da empresa com práticas enxutas. Por último, Azadeh *et al.* (2015) abordaram as interações entre as práticas enxutas sem o objetivo de estabelecer o grau de implementação da PE na empresa. Para ratificar as diferenças entre estes estudos e os quatro estudos citados acima, nenhum dos quatro apresentou o grau de implementação global da PE. Logo, constata-se uma escassez de pesquisas que se detêm a avaliar o nível de implementação da PE considerando as possíveis interações das práticas.

Foi possível verificar também que, até o momento, a maioria dos estudos sobre avaliação da PE utilizaram ferramentas quantitativas, com destaque para a lógica *fuzzy* (BEHROUZI; WONG, 2013; ARUL; ARUMUGAM; PARTHIBAN, 2014), o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (CHAUHAN; SINGH, 2012; RAVIKUMAR *et al.*, 2013;

ANVARI *et al.*, 2014) e as normas SAE J4000 e J4001 (LUCATO; MAESTRELLI; VIEIRA JUNIOR, 2006; NOGUEIRA; SAURIN, 2008; LUCATO *et al.*, 2014). Contudo, apesar da grande contribuição dada por estas ferramentas, como a redução de ambiguidades, incertezas e imprecisões, realização de comparações par a par geradas na avaliação qualitativa e fornecimento de instruções para avaliar o nível de atendimento das organizações às melhores práticas na implantação da PE, elas, utilizadas individualmente, não foram capazes de atender a todos os requisitos propostos para a construção do modelo de avaliação.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para compreensão sobre a estrutura do trabalho, o Quadro 1 apresenta o conteúdo de cada capítulo de um modo generalizado.

Quadro 1 – Conteúdo da estrutura do trabalho

Capítulo 1 – Introdução	Capítulo 2 – Fundamentação Teórica	Capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos	Capítulo 4 – Resultados	Capítulo 5 – Conclusões
• Exposição do tema; • Apresentação do problema de pesquisa; • Estabelecimento dos objetivos; • Justificativa de abordar o tema; • Estrutura da pesquisa.	• Contexto da PE; • Conceitos sobre as práticas enxutas; • Interações entre as práticas enxutas; • <i>Lean Bundles</i>; • Avaliação da PE; • Estudos publicados sobre o tema; • Ferramentas de análise quantitativa para avaliação da PE; • Construção dos requisitos para avaliação da PE.	• Caracterização da pesquisa; • Apresentação do método de revisão sistemática sobre o tema; • Desenvolvimento de um modelo referencial para avaliação da PE; • Elaboração dos instrumentos de coleta de dados.	• Contextualização da empresa; • Estudo de caso na Empresa X; • <i>Delphi</i> com especialistas; • Execução do modelo referencial.	• Atendimento aos objetivos; • Contribuições da pesquisa; • Limitações da pesquisa; • Oportunidades de futuras pesquisas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2 PRODUÇÃO ENXUTA

A revisão da literatura apresentou o contexto da Produção Enxuta, seus conceitos e uma explanação sobre as práticas utilizadas nesse sistema. Ao aprofundar mais neste assunto, foram explicadas as interações existentes entre as várias práticas enxutas, a importância da avaliação da PE, além da análise acerca da evolução dos estudos sobre avaliação do nível de implementação da PE e, por fim, uma revisão sobre as principais ferramentas de análise quantitativa adotados em estudos anteriores para avaliação da PE.

2.1 CONTEXTO DA PRODUÇÃO ENXUTA

Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão estava destruído e precisava se reerguer. Sua economia passava por dificuldades financeiras e restrições de mercado (OHNO, 1997). Desse modo, as indústrias japonesas precisavam reestruturar seus sistemas de produção, de forma que utilizasse apenas os recursos que realmente necessitariam.

Sendo assim, Eiichi Toyoda, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, ao longo dos anos, desenvolveram o Sistema Toyota de Produção (STP) na empresa automobilística *Toyota Motor Corporation*. Segundo Monden (2015), o STP é uma filosofia que tem por objetivo principal o lucro por meio da redução de custos ou aumento da produtividade, e esses fatores, por sua vez, são obtidos pela eliminação dos desperdícios. Anos depois, essa filosofia foi adotada por diversas outras empresas japonesas em virtude da crise do petróleo de 1973 (MONDEN, 2015).

Durante pesquisa realizada por membros do *International Motor Vehicle Program* (IMVP), do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), surge o termo *Lean Manufacturing* (KRAFCIK, 1988), adotado para definir a abordagem da Toyota voltada à eliminação dos desperdícios na manufatura. Porém, o termo *Lean Manufacturing* e o STP tornaram-se mundialmente conhecidos em 1990, após o livro “A máquina que mudou o mundo” de Womack, Jones e Roos (1990).

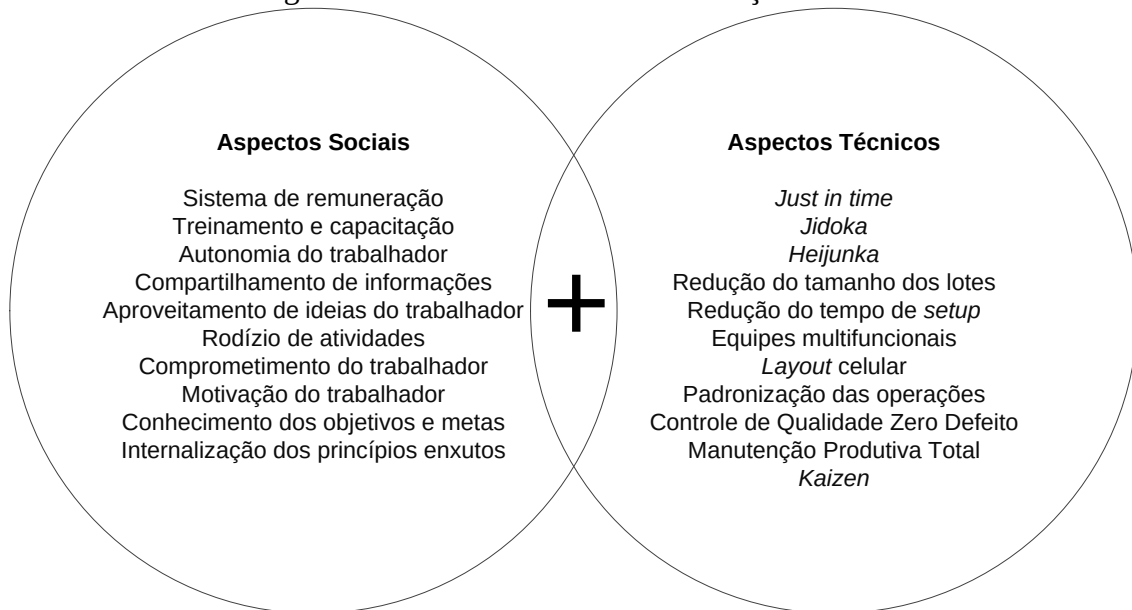
A Produção Enxuta (PE) é descrita a partir de dois pontos de vista: uma perspectiva filosófica, relacionada aos objetivos e princípios norteadores, e outra perspectiva prática, que engloba um conjunto de práticas e técnicas de gestão (SHAH; WARD, 2007). Para Pasa (2004), os princípios são abstratos e constituem o alicerce da PE, operacionalizando as práticas, ou seja, as práticas viabilizam a execução dos princípios adotados. Sendo assim, as

práticas enxutas consistem de um conjunto de ações planejadas, implementadas e avaliadas para alcançar o objetivo da PE (NOGUEIRA; SAURIN, 2008).

Ao revisar a literatura, e englobando as perspectivas de diferentes autores, esta pesquisa adotou o seguinte conceito para a PE: sistema sociotécnico integrado de abordagem multidimensional que compreende princípios e práticas de gestão, cujo principal objetivo é a redução de custos por meio da eliminação de desperdícios, reduzindo a variabilidade proveniente dos processos internos, fornecedores e clientes (SHAH; WARD, 2003; 2007; SINGH; GARG; SHARMA, 2010; MONDEN, 2015).

Assim, tornou-se clara, pela literatura, a existência de aspectos sociais ligados aos aspectos técnicos que compreendem a PE. Isso mostra que, por trás de todos os aspectos técnicos da PE, existem aspectos sociais que contribuem para o funcionamento da filosofia *lean*. A Figura 1 ilustra este relacionamento.

Figura 1 – Base sociotécnica da Produção Enxuta



Fonte: Elaborado pelo autor.

Todas as práticas utilizadas pela PE visam à eliminação de desperdícios. Monden (2015) comenta sobre tais desperdícios. Inicialmente, uma empresa que não identifica sua demanda de maneira adequada tende a produzir em excesso, gerando uma superprodução. Ao produzir de forma excedente, ocorrem dois fatos: necessidade de dispendir um custo maior com a aquisição dos insumos utilizados na fabricação de determinado produto, além do surgimento de estoques em processo e de produto acabado. Os estoques, por sua vez, requerem maior espaço físico na unidade fabril para suas alocações, gerando mais despesas

para a organização. Logo, a produção sem considerar a demanda acarreta em maior custo, semelhante ao efeito cascata.

Um das ações para redução dos custos operacionais é a eliminação ou redução dos desperdícios, conhecido também pelo termo japonês *MUDA*. Uma organização que adota a PE torna-se capaz de atender à demanda de um *mix* de produtos com os menores tempos de atravessamento (ANVARI; ZULKIFLI; YUSUFF, 2013). A PE proporciona benefícios como menor tempo de ciclo, tempo de atravessamento (*throughput time*) mais curto, menor *work-in-process* (WIP), tempo de resposta mais rápido, menor custo, maior flexibilidade de produção, melhor qualidade e melhor serviço ao cliente (BHASIN, 2008).

Na próxima seção foram abordadas, de maneira geral, práticas enxutas que serviram de base para o modelo referencial de avaliação da PE.

2.2 PRÁTICAS DA PRODUÇÃO ENXUTA

A Produção Enxuta é operacionalizada por um conjunto de práticas que representam o seu elo tangível e têm suas ações orientadas pelos princípios, que são os fatores cruciais para o sucesso da sua implantação.

Em virtude de essa pesquisa abranger apenas o nível dos processos produtivos da empresa, foram abordadas práticas enxutas realizadas na linha de produção da organização. Tais práticas foram extraídas como as principais utilizadas nos 52 artigos que tratam sobre o tema avaliação da Produção Enxuta, selecionados para esta revisão de literatura. O processo realizado para consideração destes artigos está detalhado na seção 2.3.1. O Quadro 2 apresenta a definição das práticas conforme a literatura.

Quadro 2 – Práticas enxutas

Práticas	Definição	Autores
Redução do tempo de <i>setup</i>	Prática que viabiliza a redução dos tempos de <i>setup</i> , simplificando-os ao menor tempo possível.	Moreira e Pais (2011).
Sistema <i>kanban</i>	Sistema que operacionaliza o JIT, sendo um sistema de informações e ferramentas visuais para controle que permite puxar a produção em cada processo. Ele sincroniza e fornece instruções sobre a produção e retirada de materiais, tanto para fornecedores quanto para clientes.	Dennis (2009); Monden (2015).
Nivelamento da produção (<i>Heijunka</i>)	É uma prática que consiste em manter constante e previsível, ao longo de um período, a programação de produção do <i>mix</i> de produtos.	Black (2007); Marksberry, Badurdeen e Maginnis (2011); Soliman e Gadalla (2014).

Práticas	Definição	Autores
Integração com fornecedores	Esta prática requer um número reduzido de fornecedores para um determinado componente, relacionamento de longo prazo entre a empresa e o seu fornecedor, compartilhamento frequente de informações sobre a demanda, entregas frequentes e em pequenos lotes por parte do fornecedor.	Goodson (2002); Nogueira e Saurin (2008); Taj e Morosan (2011).
Padronização das operações	Consiste em estabelecer um padrão para executar as operações, geralmente representado em folhas de trabalho padrão, que combinam materiais, operários e máquinas. Essa prática permite que uma atividade esteja padronizada no que se refere a tempo de operação, sequência de tarefas e quantidade de material em processo.	Ohno (1997); Shingo (2000); Monden (2015).
Trabalhadores multifuncionais	Grupo de trabalhadores capazes de realizar diferentes tarefas no processo produtivo.	Monden (2015).
Sincronização pelo <i>takt time</i>	Consideração do <i>takt time</i> para tornar a produção flexível, de modo a acompanhar as flutuações da demanda real.	Gurumurthy e Kodali (2009); Taj e Morosan (2011).
Layout celular	Conjunto de máquinas diferentes agrupadas fisicamente para fabricar um conjunto de produtos semelhantes, sendo produzidos em pequenos lotes.	Hyer e Brown (1999).
Manutenção Produtiva Total (TPM)	Metodologia que visa o aumento de confiabilidade dos equipamentos, buscando a integração das atividades de produção, manutenção e de engenharia.	Ahuja e Khamba (2008).
Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)	Ferramenta que permite a real visualização do <i>status</i> do processo, consistindo em analisar o estado atual do processo de produção e desenvolver um estado futuro para sua melhoria.	Sawhney e Chason (2005); Marchwinski e Shook (2008).
Controle Estatístico do Processo (CEP)	Controle estatístico que monitora, por amostragem ou continuamente, a variabilidade e a capacidade do processo de acordo com as especificações do cliente e especificações técnicas.	Singh, Garg e Sharma (2010).
Uso de ferramentas da qualidade	Utilização de técnicas que contribuem para encontrar a causa raiz e solucionar problemas relativos ao processo produtivo (FMEA, 5W2H, 5 Porquês, Diagrama de Ishikawa, QFD, etc.).	Shetty, Ali e Cummings (2010); Bhasin (2011); Eswaramoorthi <i>et al.</i> (2011).
<i>Poka yoke</i>	É um dispositivo introduzido na máquina ou na linha de produção que, ao constatar um problema na peça ou no processo, interrompe a fabricação para retirar a peça defeituosa ou ajustar a máquina, impedindo a continuação da geração de defeitos. Tal dispositivo também pode atuar de modo a identificar e impedir que um produto defeituoso continue no processo produtivo.	Monden (2015).
Autonomação (<i>Jidoka</i>)	É a autonomia dada ao operador ou à máquina de sempre parar o processo produtivo quando alguma anormalidade no processamento for detectada.	Ghinato (1995).
5S	É um conjunto de passos que visa reforçar o controle visual e a organização nas plantas fabris. Esses passos são basicamente os seguintes: separar, organizar, limpar, padronizar e conservar.	Marchwinski e Shook (2008); Monden (2015).

Práticas	Definição	Autores
Gestão visual	Ferramenta utilizada para identificar e eliminar <i>déficits</i> de informação por meio de soluções visuais que envolvam todos os membros do local de trabalho. Esta prática possibilita a imediata percepção de uma situação que esteja fora do padrão, permitindo que os funcionários a corrijam.	Galsworth (2004); Dennis (2009).
Compartilhamento de informações	Consiste em promover a confiança entre funcionários e liderança ao tornar todos os funcionários cientes dos resultados e estratégias da empresa, fazendo com que todos os níveis hierárquicos sintam-se parte integrante da organização.	Karlsson e Ahlström (1996); Papadopoulos e Özbayrak (2005)
Comprometimento da liderança e alta gerência	Supervisores, gerentes e diretores estão engajados nos projetos de melhoria da organização, com participação ativa e comprometidos com todos os aspectos referentes aos processos produtivos da empresa.	Al-Najem <i>et al.</i> (2013); Garza-Reyes, Ates e Kumar (2015); Maasouman e Demirli (2015).
Treinamentos <i>lean</i>	Consiste na capacitação contínua dos funcionários de todos os níveis hierárquicos da empresa acerca das práticas enxutas e sua importância, de modo a estarem conscientes de todos os benefícios que as práticas proporcionam, promovendo a mudança da cultura organizacional.	Kumar e Thomas (2002); Al-Najem <i>et al.</i> (2013).
Atividades de Pequenos Grupos (APGs)	Consiste no envolvimento de trabalhadores de todos os níveis hierárquicos de uma equipe na verificação, diagnóstico e resolução de problemas e eliminação de desperdícios ao longo do processo, incentivando a cultura <i>kaizen</i> .	Dennis (2009); Garza-Reyes, Ates e Kumar (2015); Monden (2015).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todavia, a ação individual das práticas apresentadas no Quadro 2 não assegura à empresa a implantação da PE. De fato, sua implantação bem sucedida é promovida pela atuação conjunta das práticas enxutas visando ao alcance do objetivo crucial da PE, que é a eliminação dos desperdícios.

2.2.1 Interações entre práticas da Produção Enxuta

Cil e Turkan (2013) declaram que é essencial considerar as relações de interdependências entre as práticas enxutas. Vilar (2014) confirma esta ideia, afirmando que tal entendimento promove o sucesso da Produção Enxuta nas empresas.

Visto que a PE é considerada um sistema e é operacionalizada por um conjunto de práticas de gestão que atuam de maneira sinérgica, complementando umas às outras, logo as diversas interações entre as práticas devem ser consideradas e são essenciais para a compreensão e sucesso de sua implantação nas empresas (FURLAN; VINELLI; DAL PONT, 2011; VILAR, 2014).

A PE é o cenário oportuno para o estudo sobre complementaridade (FURLAN; VINELLI; DAL PONT, 2011), pois as práticas enxutas são complementares e

interdependentes (MARODIN; SAURIN, 2013). Além disso, a aplicação simultânea de várias práticas resulta em um melhor desempenho operacional, devido ao relacionamento entre elas (WOMACK; JONES, 1996; SCHROEDER; FLYNN, 2002).

É fundamental, para qualquer empresa que planeje implantar a PE, a compreensão sobre a essência e conceito de cada uma das práticas enxutas que será adotada. Ainda mais, é preciso entender as interações entre as práticas que se pretende adotar, para que possa extrair os melhores resultados com a PE.

Por exemplo, ao implantar a produção JIT, automaticamente a produção deverá ser baseada pelo *takt time* (SHAH; WARD, 2007). Também será preciso que a produção na estação precedente seja executada apenas quando requisitada pela estação sucessora. Para isso será necessária a implantação do sistema *kanban* (OHNO, 1997). Além disso, o sistema de produção deve ser flexível, passando a produzir uma maior variedade de produtos por período para atender à demanda. Isso fará com que os lotes sejam reduzidos, aumentando, conseqüentemente, o número de *setups* da máquina (SHAH; WARD, 2003). Para que seja viável a ocorrência de mais *setups* na linha sem afetar a produtividade, é preciso reduzir o tempo de *setup*, sendo, portanto, necessário desenvolver a TRF (SUGIMORI *et al.*, 1977). Powell *et al.* (2013) ressaltam que a TRF é uma das práticas que uma empresa deve adotar para proporcionar a produção com lotes menores e alcançar a produção JIT. Por fim, o *heijunka* nivelará a produção e estabelecerá o sequenciamento de produção adequado para alcance do objetivo do JIT (MAASOUMAN; DEMIRLI, 2015).

Outro exemplo se dá com relação ao *layout* celular. Seu ritmo de produção será ditado pelo *takt time* (MONDEN, 2015) e necessitará de uma equipe que seja multifuncional (KARLSSON; AHLSTRÖM, 1996). A multifuncionalidade, por sua vez, só será viável se houver treinamentos adequados para os profissionais (KARLSSON; AHLSTRÖM, 1996; FURLAN; VINELLI; DAL PONT, 2011). O treinamento será bem executado se todas as operações da célula de manufatura estiverem padronizadas e documentadas. Desse modo, uma célula poderá ser balanceada de acordo com a demanda, sendo possível à empresa alocar seus recursos humanos em outras linhas caso a demanda esteja baixa, ou requisitar mais funcionários provenientes de outras linhas se a demanda for alta (MONDEN, 2015).

A tecnologia de grupo também proporcionará a boa implementação do *layout* celular, uma vez que permite adequar a célula para uma determinada família de produtos, tornando-a uma célula dedicada (HYER; BROWN, 1999).

Com relação ao MFV, trata-se de uma ferramenta que, quando aplicada com frequência, torna-se uma das mais úteis no incentivo da cultura *kaizen* na empresa (DAL

FORNO *et al.*, 2014), pois leva os gestores e suas equipes a buscarem novas soluções para melhoria dos processos. O respeito aos funcionários e a agregação destes na sugestão de novas ideias também eleva o moral da equipe, deixando-a à vontade para a criação de um ambiente voltado para o *kaizen* (MONDEN, 2015). Além disso, o *kaizen* também é bem sucedido quando existe a padronização (dos procedimentos, política, regras e diretrizes), pois uma vez estabelecido o padrão, o desafio passa a ser mantê-lo e melhorá-lo (WITTENBERG, 1994). Por último, as APGs e os treinamentos dos funcionários também são práticas de grande importância na condução do *kaizen* (BORTOLOTTI, BOSCARI; DANESE, 2015).

A modularidade também contribui para a eliminação de desperdícios (CIL; TURKAN, 2013), por meio do planejamento da equipe de Desenvolvimento de Produtos, que projeta e padroniza um único componente como parte da fabricação de vários produtos.

A utilização de controles visuais como o *andon*, juntamente com a introdução de *poka-yoke*, contribui para uma autonomia eficaz (BURCHER; DUPERNEX; RELPH, 1996; SAURIN; RIBEIRO; MARODIN, 2010; MASAI; PARREND; ZANNI-MERK, 2015). A autonomia, por sua vez, está diretamente ligada ao sucesso do controle de qualidade zero defeito (CQZD) (FURLAN; VINELLI; DAL PONT, 2011; SOLIMAN; GADALLA, 2014), visto que ela reduz drasticamente o índice de produtos defeituosos na linha de produção (GHINATO, 1995; RIVERA; CHEN, 2007). A padronização das operações também contribui fortemente, ao viabilizar a redução da variabilidade do processo, assim como o CEP, que monitora o processo por meio de indicadores (TREVILLE; ANTONAKIS, 2006; PANWAR *et al.*, 2015). Portanto, as operações padronizadas, o CEP e o CQZD são fatores fundamentais para o sucesso do TQM (MONDEN, 2015; DAL PONT; FURLAN; VINELLI, 2009; FURLAN; VINELLI; DAL PONT, 2011).

O TPM também depende do bom andamento de práticas como multifuncionalidade – exigindo conhecimentos básicos sobre manutenção (CUA; MCKONE; SCHROEDER, 2001), APGs – planejando e implementando melhorias na máquina (AHUJA; KHAMBA, 2008) e autonomia – trabalhador realizando manutenção autônoma (LJUNGBERG, 1998). Ghinato (1995) ainda afirma que o 5S é considerado como um pré-requisito fundamental para a implantação do TPM.

O 5S auxilia o sucesso da implantação da TRF, facilitando a rápida identificação dos locais das ferramentas utilizadas e a conservação da limpeza e organização do posto de trabalho (CHIROLI; RAMOS, 2015).

Estes são alguns exemplos das interações entre as práticas enxutas. É necessário que a organização esteja ciente de como as interações podem afetar seu desempenho operacional.

2.2.2 *Lean Bundles*

Várias práticas podem ser adotadas ao longo da implantação da PE (DEMETER; MATYUSZ, 2011). Por isso, de acordo com Demeter e Matyusz (2011), a melhor maneira de abordar as práticas enxutas perpassa pela criação de *bundles* de práticas, cujo qual evidencia a natureza multidimensional da PE.

Em seu estudo sobre a influência de fatores contextuais sobre a implementação de práticas enxutas, Shah e Ward (2003) lançaram o termo *lean bundles*, que foi definido pelos autores como um conjunto de práticas de manufatura, as quais são inter-relacionadas e atuam em sinergia.

Os *bundles* fornecem uma ampla cobertura das questões pertinentes à implementação da PE, visto que eles são compostos por um conjunto de práticas enxutas (FELD, 2001). Estes conjuntos de práticas contribuem com a implementação e suporte da abordagem *lean* (DAL PONT; FURLAN; VINELLI, 2008). Portanto, conforme argumentado por Dal Pont, Furlan e Vinelli (2008), os *lean bundles* devem ser considerados como um sistema e, conseqüentemente, as relações existentes entre os seus elementos precisam ser consideradas.

Dessa maneira, o conceito sobre *lean bundles* reforça a perspectiva da PE ser considerada um sistema interligado de práticas (HOFER; EROGLU; HOFER, 2012). Segundo Feld (2001), cada *bundle* concentra-se em uma área particular que objetiva a realização da PE, porém, atuando de maneira integrada com os demais *bundles*, confirmando a complementaridade entre eles (DAL PONT; FURLAN; VINELLI, 2008). O agrupamento de práticas enxutas em *bundles* facilita a análise do sistema enxuto e seus potenciais pontos de melhoria (PETTERSEN, 2009; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011).

Para construir os *bundles* e práticas que foram utilizados nesse estudo, foi necessário realizar uma revisão na literatura sobre o que os estudos têm considerado. Assim, a Tabela 1 apresenta os índices de utilização dos *bundles* e práticas constatados no levantamento dos 52 artigos selecionados que tratam sobre avaliação da PE.

Além disso, foi necessário realizar um levantamento sobre estudos da Produção Enxuta que, de forma implícita ou explícita, desenvolveram *bundles*, *clusters* ou construtos que agrupam diferentes práticas. Neste caso foram considerados 17 estudos na análise. Alguns estudos selecionados não fizeram parte do conjunto de 52 artigos da revisão, pois os *bundles* ultrapassam o escopo do tema avaliação da PE.

Tabela 1 – Utilização das práticas enxutas nos 52 artigos revisados

Práticas Enxutas	Frequência	%
TPM	37	71,2%
Integração com fornecedores	30	57,7%
TRF/Redução do tempo de <i>setup</i>	30	57,7%
<i>Kaizen</i>	28	53,8%
Gestão visual	26	50,0%
Equipe multifuncional	25	48,1%
<i>Layout</i> celular/Tecnologia de grupo	25	48,1%
Padronização das operações	24	46,2%
5S	23	44,2%
<i>Jidoka</i>	20	38,5%
<i>Poka Yoke</i>	18	34,6%
MFV	17	32,7%
Redução do tamanho dos lotes/Fluxo unitário	16	30,8%
CEP	15	28,8%
Treinamentos <i>Lean</i>	15	28,8%
<i>Kanban</i>	14	26,9%
Redução dos níveis de estoque	14	26,9%
Uso do <i>takt time</i> para flexibilizar a produção/Flexibilidade de produção	13	25,0%
<i>Heijunka</i>	11	21,2%
Compartilhamento de informações	9	17,3%
Ferramentas da qualidade	8	15,4%
Comprometimento da liderança e alta gerência	7	13,5%
APG	7	13,5%
Balanceamento da produção	6	11,5%
Redução do tempo de atravessamento	5	9,6%
Máquinas universais	5	9,6%
Modularização	3	5,8%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo, os trabalhos foram selecionados após revisão dos estudos que abordam quaisquer subtemas da PE. O Quadro 3 mostra os estudos que desenvolveram *bundles* de práticas enxutas.

Quadro 3 – Levantamento dos *bundles* utilizados nos estudos sobre PE

Autores	Bundles
Karlsson e Ahlström (1996)	- Eliminação de desperdícios; - Equipe multifuncional; - <i>Just in Time</i> (JIT); - <i>Kaizen</i>; - Sistema de informação vertical; - Zero Defeito.

Autores	Bundles
Feld (2001)	- Controle do processo; - Fluxo de produção; - Logística; - Métricas <i>lean</i>; - Organização.
Sanchez e Perez (2001)	- Eliminação das atividades que não agregam valor; - Equipes multifuncionais; - Integração com fornecedores; - <i>Just in Time</i> (JIT); - Melhoria contínua.
Cua, Mckone e Schroeder (2001)	- <i>Just in Time</i> (JIT); - Fatores Humanos; - <i>Total Quality Management</i> (TQM); - <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM).
Shah e Ward (2003)	- <i>Just in Time</i> (JIT); - Fatores Humanos; - <i>Total Quality Management</i> (TQM); - <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM).
Godinho Filho e Fernandes (2004)	- Automação/Qualidade Seis <i>Sigma</i>; - Busca da perfeição; - Eliminação de desperdícios; - Gerenciamento visual; - Fatores Humanos; - <i>Just in Time</i> (JIT); - Limpeza, ordem e segurança; - Trabalho em fluxo/Simplificar o fluxo.
Doolen e Hacker (2005)	- Gestão da força de trabalho; - Gestão do chão de fábrica; - Processos e Equipamentos da produção; - Relacionamento com o fornecedor.
Papadopolou e Özbayrak (2005)	- Gestão da força de trabalho; - Gestão do chão de fábrica; - Implementação <i>Lean</i>; - Planejamento e Controle da Produção; - Produto/processo orientado.
Bonavia e Marin (2006)	- <i>Just in Time</i> (JIT); - Fatores Humanos; - <i>Total Quality Management</i> (TQM); - <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM).
Dal Pont, Furlan e Vinelli (2008)	- <i>Just in Time</i> (JIT); - Fatores Humanos; - <i>Total Quality Management</i> (TQM).
Rahman, Laosirihongthong e Sohal (2010)	- Gestão do fluxo; - <i>Just in Time</i> (JIT); - Redução de desperdícios.
Saurin, Marodin e Ribeiro (2011)	- Planejamento e Controle da Produção; - Recursos Humanos; - Tecnologia do processo.
Matt e Rauch (2013)	- Fluxo de material e <i>layout</i>; - Maquinário e equipamento; - Organização e equipe; - Planejamento e Controle da Produção; - Qualidade.

Autores	Bundles
Al-Najem <i>et al.</i> (2013)	- Fatores Humanos; - Liderança e alta gestão; - Planejamento e Controle; - Processos; - Relacionamento com o cliente; - Relacionamento com o fornecedor.
Gurumurthy, Mazumdar e Muthusubramanian (2013)	- Alta gestão; - Clientes; - Fornecedores; - Funcionários; - Organização.
Garza-Reyes, Ates e Kumar (2015)	- Liderança e Alta gerência; - Planejamento e Controle; - Processos; - Recursos Humanos; - Relacionamento com o cliente; - Relacionamento com o fornecedor.
Maasouman e Demirli (2015)	- Gestão de equipamentos; - <i>Just in Time</i> (JIT); - Pessoas; - Processos de produção; - Qualidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os estudos presentes no Quadro 3 apresentam diversas nomenclaturas de *bundles*. Apesar disso, várias delas possuem conceitos semelhantes. Então, alguns termos foram simplificados, tornando-se possível verificar quais *bundles* foram utilizados com mais frequência em tais estudos. A Tabela 2 apresenta os resultados.

Tabela 2 – Utilização dos elementos como *bundles*

Bundle	Frequência	%
Fatores Humanos	14	82%
<i>Just in Time</i> (JIT)	9	53%
<i>Total Quality Management</i> (TQM)	8	47%
Gestão de Processos	7	41%
Fluxo de Produção	6	35%
Planejamento e Controle da Produção (PCP)	6	35%
<i>Total Productive Maintenance</i> (TPM)	5	29%
Eliminação de desperdícios	4	24%
Relacionamento com o fornecedor	4	24%
Liderança e alta gestão	4	24%
<i>Kaizen</i>	3	18%
Relacionamento com o cliente	3	18%
Equipe multifuncional	2	12%
Gerenciamento visual	1	6%
Sistema de informação vertical	1	6%
Integração com o fornecedor	1	6%

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Tabela 2 é possível constatar que os *bundles* mais utilizados na literatura sobre PE foram os Fatores Humanos, JIT, TQM e Gestão de Processos, todos com mais de 40% de utilização. Isso reflete a importância de considerar tanto os aspectos técnicos quanto sociais da PE.

Para facilitar o entendimento, o Quadro 4 apresenta as definições dos principais *bundles* utilizados, conforme a literatura.

Quadro 4 – Definição dos conceitos dos principais *bundles* utilizados na literatura

Bundles	Definição	Autores
<i>Just-in-Time (JIT)</i>	Visa fornecer itens necessários, na quantidade necessária, no momento necessário e no local correto.	Godinho Filho e Fernandes (2004); Monden (2015); Maasouman e Demirli (2015).
Gestão de Processos (GP)	Utilização de técnicas e ferramentas para promover a estabilidade e melhoramento do processo produtivo por meio da identificação e eliminação das atividades que não agregam valor (desperdícios).	Papadopoulos e Özbayrak (2005); Al-Najem <i>et al.</i> (2013).
<i>Total Quality Management (TQM)</i>	Possui o objetivo de melhorar todas as áreas de operação de maneira contínua, reduzindo a variabilidade operacional e consolidando a qualidade de produtos e processos, de modo a atender o cliente de maneira eficiente.	Cua, McKone e Schroeder (2001); Shah e Ward (2003); Dal Pont, Furlan e Vinelli (2008).
Fatores Humanos (FH)	Conjunto de práticas de gestão de pessoas que tem por objetivo preparar os colaboradores de todos os níveis hierárquicos para absorção da cultura <i>lean</i> .	Feld (2001); Dal Pont, Furlan e Vinelli (2008); Al-Najem <i>et al.</i> (2013); Saurin, Marodin e Ribeiro (2011).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além de considerar as interações entre práticas enxutas e realizar o levantamento dos principais *bundles* e práticas utilizados na literatura, foi necessário que se estudasse mais a fundo sobre o tema avaliação do nível de implementação da PE. A próxima seção tratou sobre este assunto.

2.3 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA

Um ponto de grande relevância muitas vezes negligenciado pelas empresas que implantam a PE é a consideração de que a PE não consiste de um estado a ser alcançado, mas que é um sistema baseado na melhoria contínua das suas atividades, ou seja, é um processo que não tem fim (BHASIN, 2011; MARODIN; SAURIN, 2013; VILAR, 2014). Levando em

consideração tal constatação, fica claro que a organização precisa avaliar constantemente o seu nível de maturidade após a implantação da PE (VINODH; VIMAL, 2012).

Para Bhasin (2008), um sistema de medição de desempenho fornece um sistema de alerta sobre o que está ocorrendo no momento. De acordo com o autor, as empresas precisam entender como os indicadores-chave de desempenho podem orientá-las e conduzi-las em direção aos melhores resultados. Partindo para o contexto da Produção Enxuta, conforme argumentado por Azadeh *et al.* (2015), os gestores estão interessados em buscar indicadores para obter maior controle dos seus processos, mas não dão a devida importância para confirmar se tais indicadores refletem, de fato, o grau de maturidade *lean* da sua organização.

Quadro 5 – Perspectivas de avaliação do nível de implementação da PE

Perspectiva	Descrição	Autores
Nível de prontidão das empresas para implantar a PE	Avaliação de fatores relacionados à PE, mostrando o quanto uma organização está pronta para implantar a PE em seus processos.	Do Valle <i>et al.</i> (2008); Al-Najem <i>et al.</i> (2013); Gurumurthy, Mazumdar e Muthusubramanian (2013); Garza-Reyes, Ates e Kumar (2015).
Nível de implementação da PE na cadeia de suprimentos	Avaliação de práticas e/ou indicadores de desempenho relacionados à cadeia de suprimentos.	Agarwal, Shankar e Tiwari (2006); Zarei, Fakhrzad e Paghaleh (2011); Azevedo <i>et al.</i> (2012); Mehrjerdi (2012); Behrouzi e Wong (2013); Vinodh e Aravindraj (2013).
Nível de implementação da PE considerando indicadores de resultados	Consideração de indicadores de desempenho para avaliar o nível de implementação da PE com base nos resultados. Os indicadores podem ser operacionais, financeiros, estratégicos, mercadológicos ou ambientais.	Oliver, Delbridge e Lowe (1996); Sánchez e Pérez (2001); Cardoza e Carpinetti (2005); Ray <i>et al.</i> (2006); Srinivasaraghavan e Allada (2006); Shah e Ward (2007); Bayou e Korvin (2008); Bhasin (2008); Dias, Fernandes e Godinho Filho (2008); Khadem, Ali e Seifoddini (2008); Wan e Chen (2008); Gurumurthy e Kodali (2009); Al-Aomar (2011); Behrouzi e Wong (2011); Seyedhosseini <i>et al.</i> (2011); Vinodh, Prakash e Selvan (2011); Pakdil e Leonard (2014).
Nível de implementação da PE considerando práticas enxutas	Atribuição de notas para classificar o desempenho das práticas enxutas e, conseqüentemente, o nível de implementação da PE.	Karlsson e Ahlström (1996); Taj (2005; 2008); Wan e Chen (2009); Bhasin (2011); Vinodh e Vimal (2012); Matawale, Datta e Mahapatra (2015).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa maneira, a literatura apresenta o *leanness*, conceito que representa o grau de implementação das práticas da PE (BAYOU; KORVIN, 2008; SINGH; GARG; SHARMA, 2010; VINODH; CHINTHA, 2011; VINODH; PRAKASH; SELVAN, 2011; ANVARI; ZULKIFLI; YUSUFF, 2013). O *leanness* reflete o estado de “quão enxuta” está uma empresa. Para Bayou e Korvin (2008) e Bhasin (2008), visto que a PE é um sistema que compreende

várias práticas, o *leanness* é considerado uma medida que integra e avalia tais práticas e, por isso, engloba todos os desempenhos das práticas adotadas.

Alguns autores se detiveram em avaliar a PE ao longo dos anos. Tal avaliação, porém, realizou-se considerando diversas perspectivas. Dentre as encontradas, é possível listá-las conforme mostrado no Quadro 5. Ele apresenta as perspectivas de avaliação da PE, uma breve descrição sobre cada uma delas e alguns autores que pesquisaram sobre o tema baseando seus estudos em uma das perspectivas.

2.3.1 Visão geral dos estudos publicados

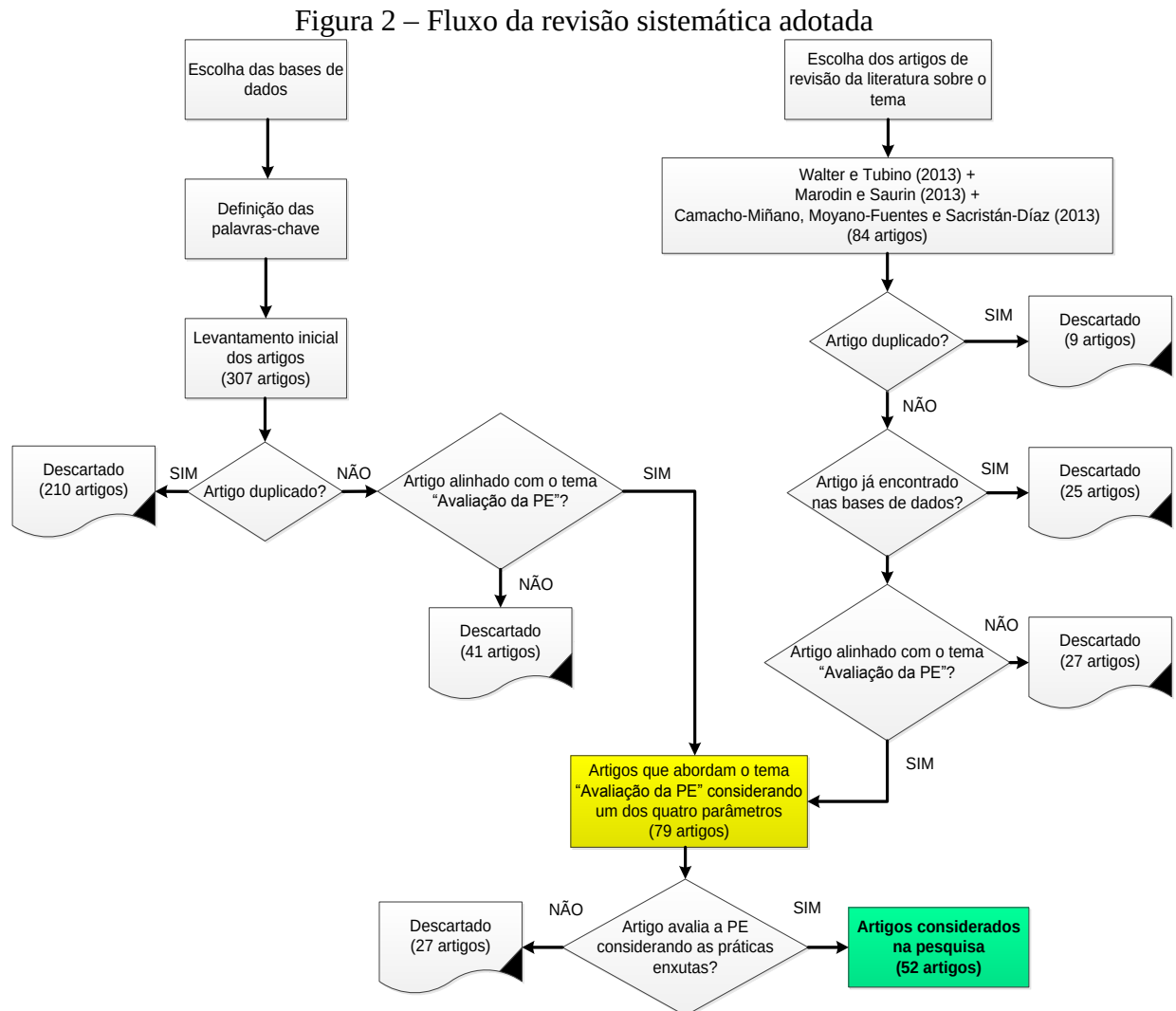
A partir de uma completa revisão da literatura foram identificados alguns estudos, nacionais e internacionais, acerca do tema avaliação da Produção Enxuta. Para encontrar o acervo, foi necessário estabelecer uma sistemática. Primeiramente, foram utilizados os termos "*lean assessment*", "*lean performance*", "*evaluation of lean*", "*lean measurement*", "*leanness level*" e "*leanness index*" para pesquisa nas bases *Emerald*, *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct* e *Engineering Research Database*. Após isso, foram retiradas todas as duplicações e, após a leitura dos títulos, removeram-se os artigos que não se alinhavam ao tema. Por fim, os resumos dos artigos restantes foram lidos e os que estiveram desalinhados também foram excluídos. Foram selecionados 56 estudos a partir dessa revisão, não havendo restrições quanto ao ano de publicação.

Além da sistemática, os estudos de Walter e Tubino (2013), Camacho-Miñano, Moyano-Fuentes e Sacristán-Díaz (2013) e Marodin e Saurin (2013) – este último apenas aborda um tópico sobre avaliação da PE em seu estudo – foram utilizados como fonte de pesquisa para a revisão da literatura sobre avaliação da Produção Enxuta. Os artigos presentes nas revisões citadas foram lidos e, de acordo com a pertinência e perspectiva do autor sobre avaliação da PE, foram inseridos na revisão. Desse modo, foram considerados 23 artigos dentre os 3 estudos de revisão. Estes artigos foram adicionados ao portfólio de 56 artigos provenientes da revisão sistemática, totalizando, assim, um portfólio inicial de 79 artigos.

Porém, conforme apresentado na seção 2.3, os estudos sobre avaliação da PE encontrados na literatura têm considerado, basicamente, quatro perspectivas de avaliação: nível de prontidão para implantação da PE, nível de implementação da PE na cadeia de suprimentos, nível de implementação considerando indicadores de desempenho (operacional, financeiro, etc.) e nível de implementação considerando as práticas enxutas. Isso fez com que surgisse a necessidade de realizar um último filtro da revisão, pois este estudo realizou a

avaliação do nível de implementação da PE considerando a perspectiva das práticas. Sendo assim, o portfólio final encontrado na revisão foi de 52 artigos.

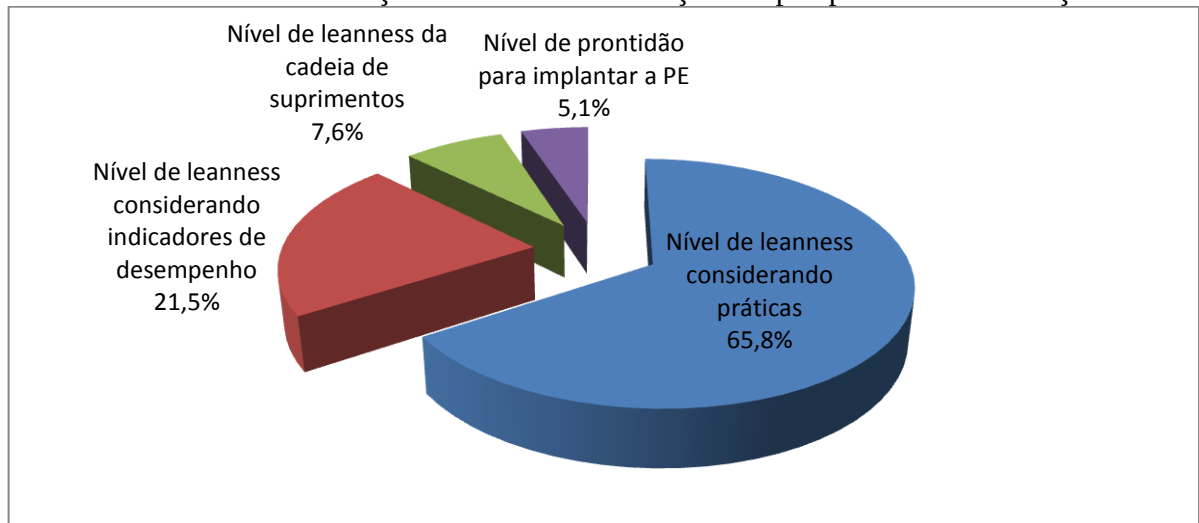
A Figura 2 ilustra o fluxo da revisão sistemática realizada nesse estudo e os filtros realizados em cada etapa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 1 apresenta uma análise inicial sobre os 79 artigos encontrados abordando o tema e considerando ao menos uma das quatro perspectivas citadas. Ele mostra também os índices de utilização de cada perspectiva dentre os estudos.

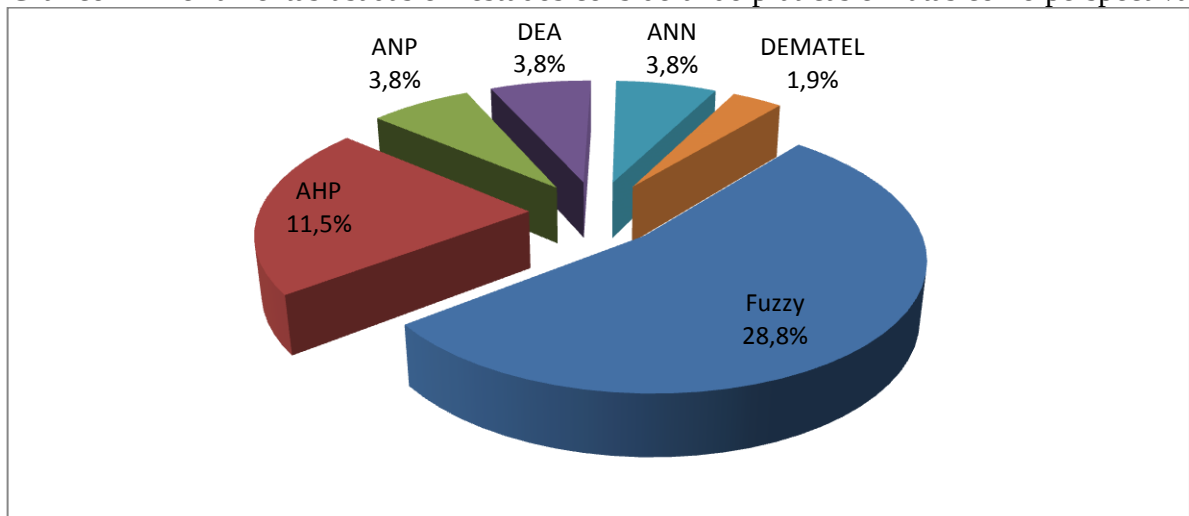
Gráfico 1 – Distribuição dos estudos em função das perspectivas de avaliação



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar que 4 dos 79 artigos (5,1%) avaliaram a prontidão de uma empresa para implantar a Produção Enxuta. Outra forma de avaliar a PE, contemplando as práticas ao longo da cadeia de suprimentos, com o intuito de avaliar o *lean supply chain*, correspondeu a 7,6% do total (6 artigos); 21,5% dos 79 artigos (total de 17) que se concentraram na avaliação da PE estabeleceram indicadores de desempenho (operacional, financeiro, etc.) como perspectiva. Por fim, em sua maioria, 52 artigos (65,8%) consideraram as práticas da empresa como perspectiva para avaliar a PE. Estes 52 artigos foram utilizados nas análises feitas na seção 2.2.

Gráfico 2 – Ferramentas usadas em estudos considerando práticas enxutas como perspectiva

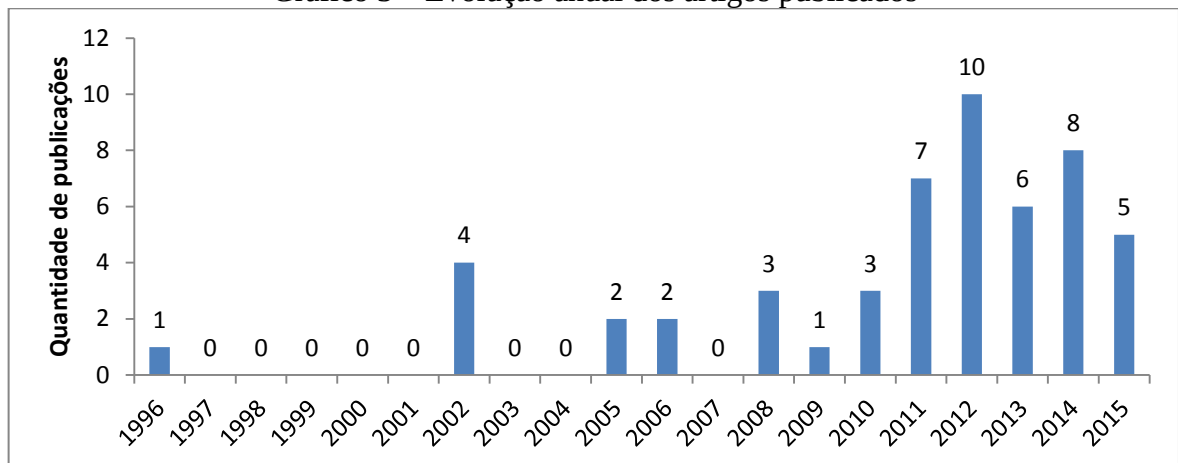


Fonte: Elaborado pelo autor.

Visto que este estudo avaliou o nível de implementação da PE considerando as práticas enxutas, então, a partir do Gráfico 2 é feita a análise dos 52 artigos que consideram esta perspectiva na avaliação. A análise inclui gráficos sobre as principais ferramentas utilizadas para avaliação das práticas enxutas, a distribuição anual das publicações, os principais autores e periódicos que mais publicaram estudos sobre o tema, e os países que se concentraram em estudar o assunto (possuindo como critério o país do autor principal).

A lógica *fuzzy* se destaca como a ferramenta mais utilizada para avaliar a implementação da PE considerando as práticas, estando presente em mais de 28% dos artigos. A abordagem AHP (*Analytic Hierarchy Process*) surge como a segunda ferramenta mais utilizada, estando em 11,3% dos estudos. Estas duas ferramentas exercem, até o momento, a predileção dos autores para avaliar o nível de implementação da PE.

Gráfico 3 – Evolução anual dos artigos publicados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se perceber também, pelo Gráfico 3, que entre os anos 2011 e 2015 houve um avanço na pesquisa de avaliação da PE considerando suas práticas, havendo um maior número de publicações, correspondendo a 36 das 52 publicações, o que equivale a quase 70% de todas as publicações encontradas. Isso reflete o quão recente é esse tema de pesquisa no meio científico.

O Quadro 6 apresenta uma síntese da análise dos 52 artigos revisados. Os estudos foram classificados conforme os seguintes parâmetros: abordagem da pesquisa, método de pesquisa, consideração ou não da interação entre as práticas enxutas, abrangência da avaliação e país.

Quadro 6 – Estudos que abordam o tema avaliação da Produção Enxuta

N	Estudo	Abordagem	Método de Pesquisa	Interação entre práticas	Abrangência	País do autor principal
1	Karlsson e Ahlström (1996)	Qualitativa	Estudo de caso	Não	Linha de produção	Suécia
2	Goodson (2002)	Quali-quantitativa	Estudo teórico	Não	Linha de produção	EUA
3	Kumar e Thomas (2002)	Quali-quantitativa	Estudo teórico	Não	Linha de produção	EUA
4	Nightingale e Mize (2002)	Qualitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	EUA
5	Soriano-Meier e Forrester (2002)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Linha de produção	Venezuela
6	Doolen e Hacker (2005)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	EUA
7	Taj (2005)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Linha de produção	EUA
8	Bonavia e Marin (2006)	Quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Linha de produção	Espanha
9	Lucato, Maestrelli e Vieira Junior (2006)	Quali-quantitativa	Estudo teórico	Não	Toda a empresa	Brasil
10	Nogueira e Saurin (2008)	Quali-quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Brasil
11	Saurin e Ferreira (2008)	Qualitativa	Estudo de caso	Não	Linha de produção	Brasil
12	Taj (2008)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Linha de produção	EUA
13	Wan e Chen (2009)	Quantitativa	Estudo teórico	Não	Linha de produção	EUA
14	Rahman, Laosirihongthong e Sohal (2010)	Quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Linha de produção	Tailândia
15	Shetty, Ali e Cummings (2010)	Qualitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	EUA
16	Singh, Garg e Sharma (2010)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia
17	Bhasin (2011)	Qualitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	Inglaterra
18	Eswaramoorthi <i>et al.</i> (2011)	Quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Linha de produção	Índia
19	Hofer <i>et al.</i> (2011)	Quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	EUA
20	Saurin, Marodin e Ribeiro (2011)	Qualitativa	Estudo de caso	Sim	Célula de manufatura	Brasil
21	Taj e Morosan (2011)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	EUA
22	Vinodh e Balaji (2011)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia

N	Estudo	Abordagem	Método de Pesquisa	Interação entre práticas	Abrangência	País do autor principal
23	Vinodh e Chintha (2011)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia
24	Bhasin (2012)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	Inglaterra
25	Chauhan e Singh (2012)	Quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	Índia
26	Ghosh (2012)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	Índia
27	Nasab, Bioki e Zare (2012)	Quali-quantitativa	Estudo de caso	Não	Linha de produção	Irã
28	Sezen, Karakadilar e Buyukozkan (2012)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Linha de produção	Turquia
29	Vimal e Vinodh (2012)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia
30	Vinodh e Kumar (2012)	Quali-quantitativa	Estudo teórico	Não	Toda a empresa	Índia
31	Vinodh e Vimal (2012)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia
32	Wong, Ignatius e Soh (2012)	Quantitativa	Estudo de caso	Sim	Toda a empresa	Malásia
33	Zhou (2012)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Linha de produção	EUA
34	Alemi e Akram (2013)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Linha de produção	Irã
35	Cil e Turkan (2013)	Quantitativa	Estudo de caso	Sim	Toda a empresa	Turquia
36	Cirino <i>et al.</i> (2013)	Qualitativa	Estudo de caso	Não	Linha de produção	Brasil
37	Gupta, Acharya e Patwardhan (2013)	Quali-quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia
38	Ravikumar <i>et al.</i> (2013)	Quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	Índia
39	Vimal e Vinodh (2013)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia
40	Almomani <i>et al.</i> (2014)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Jordânia
41	Anvari <i>et al.</i> (2014)	Quantitativa	Estudo teórico	Não	Linha de produção	Irã
42	Arul, Arumugam e Parthiban (2014)	Quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	Índia
43	Lucato <i>et al.</i> (2014)	Quali-quantitativa	<i>Survey</i>	Não	Toda a empresa	Brasil
44	Matawale, Datta e Mahapatra (2014a)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia

N	Estudo	Abordagem	Método de Pesquisa	Interação entre práticas	Abrangência	País do autor principal
45	Matawale, Datta e Mahapatra (2014b)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia
46	Soliman e Gadalla (2014)	Qualitativa	Estudo de caso	Não	Linha de produção	EUA
47	Thanki e Thakkar (2014)	Quantitativa	Survey	Não	Toda a empresa	Índia
48	Azadeh <i>et al.</i> (2015)	Quantitativa	Survey	Sim	Toda a empresa	Irã
49	Laoha e Sukto (2015)	Qualitativa	Estudo de caso	Não	Linha de produção	Tailândia
50	Maasouman e Demirli (2015)	Quali-quantitativa	Estudo de caso	Não	Célula de manufatura	Canadá
51	Matawale, Datta e Mahapatra (2015)	Quantitativa	Estudo de caso	Não	Toda a empresa	Índia
52	Susilawati <i>et al.</i> (2015)	Quantitativa	Survey	Não	Toda a empresa	Inglaterra

Fonte: Elaborador pelo autor.

Após realizar a análise dos estudos encontrados sobre o tema considerado nesta pesquisa, pôde-se notar o uso de diversas metodologias para a realização da pesquisa. Desse modo, o Quadro 7 apresenta um resumo sobre o que e como estes estudos abordaram a avaliação do nível de implementação da PE.

Quadro 7 – Escopo dos estudos publicados sobre avaliação da Produção Enxuta

Estudo	Escopo
Karlsson e Ahlström (1996)	Dentro de cada um dos nove conceitos da PE considerados no estudo, propôs a avaliação de práticas enxutas e ratificou por meio de indicadores operacionais.
Goodson (2002)	Desenvolveu o modelo chamado <i>Rapid Plant Assessment</i> (RPA). O modelo consiste de onze categorias de análise. Durante a visita, a equipe de pesquisadores observava todos os aspectos do ambiente fabril, conversa com gerentes e operadores do chão-de-fábrica, além de procurar evidência de aderência às práticas enxutas.
Kumar e Thomas (2002)	Desenvolveu um <i>software</i> para auxiliar a avaliação da PE, registrando as avaliações feitas pelos profissionais referentes a quatro fatores da empresa. As avaliações foram consideradas de forma individual.
Nightingale e Mize (2002)	Apresentou o <i>Lean Enterprise Self-Assessment Tool</i> (LESAT), o qual consiste de um <i>roadmap</i> para o <i>lean enterprise</i> . O LESAT compreende 54 práticas, as quais podem ou não fazer parte da avaliação, dependendo do contexto de cada empresa. Cada uma delas recebe avaliação individual.
Soriano-Meier e Forrester (2002)	Considerou, na avaliação, os nove elementos descritos por Karlsson e Ahlström (1996). De acordo com o nível individual de <i>leanness</i> dos elementos, se as empresas são classificadas como tradicionais, em transição para o <i>lean</i> ou <i>lean</i> .
Doolen e Hacker (2005)	Desenvolveu um modelo composto por 29 práticas enxutas distribuídas em 6 áreas. Por meio da coleta dos dados pelo questionário com escala de 5 pontos, realizou os cálculos da média e desvio-padrão das respostas e, dessa forma, avaliou o nível de implementação das 29 práticas enxutas de forma individual.

Estudo	Escopo
Taj (2005; 2008)	Avaliou o nível de adoção da PE em 20 e 65 empresas chinesas, respectivamente, considerando nove áreas utilizando a metodologia de <i>Quarterman Lee</i> . Por meio do questionário com escala de 5 pontos, calculou as médias e os percentuais de cada área, percentuais estes que corresponderam ao nível individual de adoção das práticas nos diversos segmentos pesquisados.
Bonavia e Marin (2006)	O modelo considerou onze práticas enxutas e possuiu respostas com escala de cinco pontos quanto ao nível de implementação. Também foram consideradas evidências por meio de indicadores operacionais. Após a coleta dos dados, o modelo utilizou testes estatísticos para avaliar o nível de implementação de cada uma das práticas de forma individual.
Lucato, Maestrelli e Vieira Junior (2006)	Avaliou o grau de implementação das práticas considerando as normas SAE J4000 e J4001. Aplicando um exemplo, os autores seguiram e executaram a metodologia das normas para determinar o grau de enxugamento da empresa. Calculou-se o valor global do <i>leanness</i> da empresa, sendo apresentado em percentual.
Nogueira e Saurin (2008)	O modelo, que consistiu de oito etapas, utilizou as Normas SAE J4000 e J4001 e considerou quinze práticas enxutas. Ao coletar e considerar as variáveis importância e desempenho, o modelo constatou quais práticas necessitavam de prioridade para melhorias futuras.
Saurin e Ferreira (2008)	O modelo propôs uma avaliação qualitativa de doze práticas da PE quanto a suas aplicações. Considerando o peso e aplicação de cada uma das práticas, calculou-se a nota de cada uma delas e, assim, pôde-se verificar quais práticas necessitavam de maior atenção para melhorias.
Wan e Chen (2009)	Desenvolveu um modelo de avaliação baseado em um <i>software</i> , o qual se adapta conforme o sistema de produção da empresa, ao levar em conta os parâmetros repetitividade e volume. Desse modo, o <i>software</i> indica quais práticas devem ser implantadas a cada etapa, aumentando as chances de uma implantação bem-sucedida. O modelo considerou doze práticas enxutas e pode ser operacionalizado e respondido por funcionários dos diferentes níveis da empresa.
Rahman, Laosirihongthong e Sohal (2010)	O modelo considerou treze práticas enxutas adaptadas de Shah e Ward (2003) e utilizou um questionário com escala de cinco pontos para medir o nível de implementação das práticas. Também utilizou quatro critérios para medir o desempenho operacional. Foram utilizados cálculos estatísticos para medir o nível de implementação e relacioná-los com o desempenho operacional.
Shetty, Ali e Cummings (2010)	Por meio de um questionário que englobou oito categorias de análise, os autores calcularam os pesos ponderados de 26 elementos relacionados à PE com base nas respostas. Após registrar os dados no modelo, construído em planilhas eletrônicas, o estudo classificou as empresas dentro de cinco níveis.
Singh, Garg e Sharma (2010)	Desenvolveu um modelo para avaliar o nível de implementação considerando cinco parâmetros e seus conjuntos de subfatores. Após serem dados os pesos para cada avaliador e utilizar a lógica <i>fuzzy</i> , os autores encontraram o <i>leanness index</i> para cada parâmetro. Dessa forma eles conseguiram verificar quais parâmetros necessitavam de melhorias.
Bhasin (2011)	O modelo consistiu de uma auditoria realizada em empresas para auxiliá-las na identificação do estágio que elas ocupavam na jornada <i>lean</i> . Para isso, considerou doze categorias de análise e suas respectivas subcategorias. Ao coletar as respostas do questionário e somar todos os valores relativos a cada categoria, o modelo identificou em que estágio cada empresa se encontrava na jornada.
Eswaramoorthi et al. (2011)	O modelo considerou 36 práticas relacionadas à PE e avaliou o nível de implementação de cada prática individualmente, além de elencar os diversos fatores de motivação para sua implementação, a frequência de utilização das práticas e as principais barreiras de implantação. A avaliação seguiu os resultados de um questionário com escala de 5 pontos.
Hofer et al. (2011)	Analisou duas questões: a avaliação do nível de implementação de práticas da PE e a comparação dos níveis de adoção das práticas entre segmentos da China e dos EUA. Realizou-se o cálculo pelo modelo de regressão, considerando como variáveis os resultados do questionário, o tipo da indústria e o país das empresas. Foram consideradas dez práticas enxutas.

Estudo	Escopo
Saurin, Marodin e Ribeiro (2011)	O modelo avaliou as práticas em células de manufatura. Foram consideradas 18 práticas enxutas distribuídas em 3 subsistemas. Além da avaliação das práticas, o modelo considerou as interações entre elas. Seguindo esse critério, as práticas foram classificadas como "básicas", intermediárias" e "práticas-fim".
Taj e Morosan (2011)	O modelo considerou três construtos compostos por trinta elementos relacionados à PE. Por meio de um questionário com escala de cinco pontos, cada elemento apresentou um valor individual no que diz respeito à implantação. Além disso, o modelo relacionou a implantação de cada construto com três indicadores operacionais.
Vinodh e Balaji (2011)	Estabeleceu 5 capacitadores, 20 critérios e 59 atributos. Após atribuir números <i>fuzzy</i> para as variáveis importância e desempenho, pôde-se encontrar o <i>Fuzzy Leanness Index</i> (FLI), que representa o nível de <i>leanness</i> global da empresa. Adotou-se a distância Euclideana para defuzzificar o FLI (conversão do número <i>fuzzy</i> em um valor com apenas uma coordenada) e classificar o nível de implementação da PE. O modelo foi transformado em um <i>software</i> chamado FLBLA-DSS, desenvolvido com o uso do <i>Microsoft Visual Studio</i> .
Vinodh e Chintha (2011)	Utilizou os mesmos 5 capacitadores, 20 critérios e 59 atributos de Vinodh e Balaji (2011). Após coletar os valores das variáveis importância e desempenho, realizou a multiplicação de ambas e, por meio do cálculo da média aritmética, encontrou o nível de <i>leanness</i> dos critérios, capacitadores e o nível global da empresa.
Bhasin (2012)	Adaptou o <i>Balanced Scorecard</i> para analisar se as empresas que adotaram a PE obtiveram sucesso ao longo do tempo. Para isso, analisou 35 indicadores e elementos, distribuídos entre os aspectos financeiros, de processos, de pessoal, de clientes e aspectos futuros. Também foram analisadas as práticas mais utilizadas entre as empresas entrevistadas, o tempo de implementação da PE e o período de monitoramento dos resultados com a implantação.
Chauhan e Singh (2012)	Utilizou o AHP para atribuir os pesos comparativos de cada um dos nove elementos adotados por Karlsson e Ahlström (1996). Utilizou também um questionário com escala de 7 pontos. Os resultados dos questionários juntamente com os pesos comparativos corresponderam ao valor global do <i>lean manufacturing</i> e ao valor de cada parâmetro. Desse modo, foi possível constatar quais parâmetros obtiveram as maiores médias dentre as empresas, o nível de <i>leanness</i> por empresa.
Ghosh (2012)	Considerou sete dimensões relacionadas à PE e, por meio de questionário com escala de cinco pontos, identificou o nível de implementação de cada dimensão individualmente. O modelo também relacionou as dimensões com seis indicadores operacionais.
Nasab, Bioki e Zare (2012)	Desenvolveu o modelo chamado A ² (combinação do AHP e ANN) para analisar a PE considerando nove fatores. A estrutura do modelo compreendeu três níveis: possibilidade de sucesso de implantação, classificação dos nove fatores, e nível de PE mais adequado conforme a estratégia da empresa.
Sezen, Karakadilar e Buyukozkan (2012)	O modelo considerou 16 quinze enxutas. Após coletar os resultados em relação à aplicação de cada práticas nas empresas, o modelo relacionou, por meio de cálculos estatísticos, os valores das aplicações com cinco objetivos de desempenho e três indicadores financeiros.
Vimal e Vinodh (2012)	Utilizou a regra <i>IF-THEN</i> para avaliar o nível de implementação. Após atribuir números <i>fuzzy</i> para a avaliação qualitativa dos desempenhos de 30 critérios da PE, adotou-se a regra <i>IF-THEN</i> para avaliar o grau de <i>leanness</i> da empresa estudada. Além disso, verificou quais critérios necessitavam de melhoria.
Vinodh e Kumar (2012)	Desenvolveu um sistema de suporte à decisão para avaliação da PE sob a lógica <i>fuzzy</i> . O modelo foi chamado de DSS-MGFLA e é um <i>software</i> baseado no modelo desenvolvido por Vinodh e Chintha (2011),
Vinodh e Vimal (2012)	Estabeleceu 5 capacitadores, 30 critérios e 86 atributos. Utilizando a lógica <i>fuzzy</i> , pôde-se encontrar o <i>Fuzzy Leanness Index</i> (FLI). Após isso, adotou-se a distância Euclideana para defuzzificar o FLI. O FLI defuzzificado foi comparado a 5 valores teóricos para determinar o nível de implementação. O modelo também identificou os atributos mais fracos, além de sugerir melhorias.

Estudo	Escopo
Wong, Ignatius e Soh (2012)	O modelo utilizou o ANP para considerar as inter-relações entre os indicadores enxutos, estabelecendo um índice de <i>leanness</i> para as perspectivas baseadas no processo, baseadas no ser humano e para a perspectiva sociotécnica.
Zhou (2012)	Por meio de um questionário com escala de 5 pontos, o modelo avaliou o nível de implantação de 20 práticas e programas relacionados à PE. Após calcular as médias das respostas, o estudo avaliou o nível de implantação de cada prática e programa, além de determinar o nível global de <i>leanness</i> por meio da média das práticas.
Alemi e Akram (2013)	Avaliou a PE por meio da abordagem <i>fuzzy</i> TOPSIS. O estudo considerou as onze categorias e o questionário elaborado por Goodson (2002), convertendo as variáveis linguísticas em números <i>fuzzy</i> e classificando cada categoria. Após determinar o peso de cada categoria pela perspectiva dos especialistas, calculou-se o <i>leanness score</i> , resultado da multiplicação entre a classificação de cada categoria e seus pesos de importância comparativos. Deste modo, pôde-se estabelecer o grau de <i>leanness</i> da empresa considerando os pesos de importância e desempenhos das onze categorias relacionadas à PE.
Cil e Turkan (2013)	Utilizou o ANP para estabelecer as interações entre as práticas. O modelo compreendeu três determinantes principais (objetivos do <i>lean enterprise</i> , <i>stakeholders</i> e princípios e práticas <i>lean</i>). Foram considerados 26 práticas e princípios enxutos e as relações entre objetivos, práticas e <i>stakeholders</i> , porém não calculou-se o grau de <i>leanness</i> da empresa.
Cirino <i>et al.</i> (2013)	Considerou o nível individual de aplicação de oito práticas enxutas por meio de um questionário com escala de cinco pontos. Por fim, realizou uma análise subjetiva de cada uma das práticas.
Gupta, Acharya e Patwardhan (2013)	Em um primeiro momento, o modelo relacionou dez fatores considerados fundamentais para estabelecer a PE em uma empresa, estabelecendo a ordem de implantação de cada fator por estágio. Em seguida, avaliou o nível de implementação da PE por meio da aplicação dos tipos de desperdícios.
Ravikumar <i>et al.</i> (2013)	Utilizou o AHP e o SEM (<i>structural equation modelling</i>) para avaliar onze fatores de sucesso de implantação da PE. Por meio dos resultados, foi possível identificar quais fatores possuíam maior relevância no estudo realizado.
Vimal e Vinodh (2013)	Utilizou a combinação entre <i>fuzzy</i> e ANN. Os dados de entrada do modelo foram resultados de pesquisas anteriores. Após isso, aplicou-se o ANN, no qual gerou um novo <i>Fuzzy Leanness Index</i> e reclassificou o <i>leanness</i> da empresa pela distância Euclideana.
Almomani <i>et al.</i> (2014)	Utilizou o AHP para avaliar sete áreas de uma empresa sob a perspectiva <i>lean</i> . Em seguida, realizou uma análise de sensibilidade considerando o cenário atual e outros possíveis.
Anvari <i>et al.</i> (2014)	Utilizou uma abordagem integrada entre AHP e DEA para avaliar e selecionar as práticas enxutas. O modelo relacionou 13 práticas com 4 critérios de decisão. Após os especialistas estabelecer os pesos ponderados e as classificações das práticas e critérios, foi possível selecionar os objetivos e critérios de modo mais eficiente e eficaz.
Arul, Arumugam e Parthiban (2014)	O modelo utilizou o <i>fuzzy</i> TOPSIS para avaliar o nível de implementação considerando onze fatores de análise relacionados à PE. Ao aplicar a metodologia, verificaram-se quais empresas se encontravam mais próximas do alcance do objetivo.
Lucato <i>et al.</i> (2014)	Utilizou as normas SAE J4000 e J4001 para avaliar a implementação dos princípios <i>lean</i> . Por meio de cálculos estatísticos e testes de hipóteses, o modelo apresentou relações do nível de implementação da PE com outras variáveis, como tipo e tamanho das empresas, por exemplo.
Matawale, Datta e Mahapatra (2014a)	Utilizou o <i>Interval-Valued Fuzzy Sets</i> (IVFS) e números <i>fuzzy</i> trapezoidal. O modelo considerou os mesmos capacitadores, critérios e atributos de Vinodh e Vimal (2012) e sua metodologia. Ao final, adicionou o nível de similaridade entre os atributos.
Matawale, Datta e Mahapatra (2014b)	O modelo considerou os mesmos capacitadores, critérios e atributos de Vinodh e Vimal (2012) e sua metodologia, porém utilizando a teoria <i>grey numbers</i> .

Estudo	Escopo
Soliman e Gadalla (2014)	O estudo considerou 5 categorias de análise compondo 16 elementos enxutos. Cada um dos elementos recebeu uma meta corporativa a ser alcançada dentro de 2 anos e tiveram seus desempenhos acompanhados durante o período. Um gráfico radar ilustrou os elementos que não atingiram as metas corporativas.
Thanki e Thakkar (2014)	O modelo avaliou empresas indianas no que diz respeito à consciência e implementação da PE. Os autores consideraram as nove áreas utilizadas por Taj (2005; 2008). Eles também avaliaram a conscientização e comprometimento dos funcionários para que a empresa alcance o estado de <i>leanness</i> . Para ambos os casos, os questionários consistiram de uma escala de cinco pontos, e o cálculo dos resultados se deu pela média das respostas. Além disso, o estudo desenvolveu uma matriz que correlacionou o grau de oportunidade/conscientização com o nível de implantação da PE.
Azadeh <i>et al.</i> (2015)	Desenvolveu um modelo com a combinação entre <i>fuzzy</i> , DEA, DEMATEL e AHP para avaliar e otimizar o <i>leanness</i> das empresas. O modelo considerou os elementos descritos em Vinodh e Chintha (2011), avaliou o impacto de um elemento sobre outro, além de avaliar o impacto que um elemento exercia sobre o <i>leanness</i> das empresas. Por fim, realizou-se a otimização dos elementos enxutos.
Laoha e Sukto (2015)	Considerou o nível individual de aplicação de quatorze práticas enxutas, seguindo o sistema de pontuação do Malcolm Baldrige National Quality Award (MBNQA). Por fim, foi avaliado o nível individual de desempenho das práticas.
Maasouman e Demirli (2015)	Desenvolveu um modelo de maturidade <i>lean</i> adaptado às especificações das células de manufatura. Foram considerados oito eixos da PE, cada um compreendendo uma série de elementos enxutos. Após a coleta das informações por meio de auditorias, indicou-se o <i>leanness</i> de cada eixo, dado em percentual, bem como o <i>leanness</i> global da empresa. O modelo ainda identificou quais eixos necessitavam de melhorias.
Matawale, Datta e Mahapatra (2015)	O modelo considerou os mesmos capacitadores, critérios e atributos de Vinodh e Vimal (2012) e sua metodologia, porém considerando números <i>fuzzy</i> trapezoidal.
Susilawati <i>et al.</i> (2015)	Desenvolveu um modelo constituído por seis parâmetros de avaliação. As variáveis linguísticas coletadas foram convertidas em números <i>fuzzy</i> , sendo adicionado um fator de correção conforme o tempo de implementação de determinada prática. Após a defuzzificação dos valores encontrados, determinou-se o <i>leanness</i> de cada parâmetro, não apresentando um valor global.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na evolução histórica da pesquisa sobre o tema da avaliação da Produção Enxuta, são estabelecidos alguns requisitos para a avaliação da PE neste estudo. A próxima seção apresenta esses requisitos.

2.3.2 Requisitos para avaliação da Produção Enxuta

Nesta pesquisa, alguns requisitos de avaliação foram elencados como fundamentais para atingir o objetivo do estudo. Eles foram originados da revisão de literatura por meio da leitura dos artigos publicados sobre o tema, com a intenção de desenvolver uma metodologia de avaliação do nível de implementação da PE que fosse capaz de atender aos requisitos. Sendo assim, eles foram considerados na construção do modelo proposto por este estudo.

Portanto, os sete requisitos extraídos empiricamente dos estudos foram os seguintes: redução da imprecisão pela avaliação subjetiva; estabelecimento de *bundles*, ou seja, a formação de conjuntos de práticas; consideração da PE como um sistema integrado por meio da avaliação das interações entre os elementos; classificação dos elementos quanto às relações entre eles; estabelecimento de parâmetros (escalas de classificação) que permitam determinar o nível de implementação da PE; determinação de um valor global de *leanness*, de modo a identificar em que estágio de implementação o sistema de uma organização se encontra; identificação das práticas enxutas que devem ser priorizadas para alavancar o nível global de implementação futuramente, guiando, dessa forma, a organização por onde iniciar as melhorias posteriormente. O Quadro 8 descreve os requisitos de avaliação.

Quadro 8 – Requisitos do modelo para avaliação do nível de implementação da PE

Requisito	Descrição	Autores
Redução da imprecisão.	Necessidade de um sistema que reduza a imprecisão e subjetividade da resposta qualitativa.	Vimal e Vinodh (2013); Anvari, Zulkifli e Yusuff (2013).
Agrupamento dos elementos em <i>bundles</i> ou <i>clusters</i> .	Estabelecimento de grupos de práticas, representando um conjunto de elementos que compreende a operacionalização do <i>bundle</i> .	Saurin, Marodin e Ribeiro (2011); Wong, Ignatius e Soh (2012).
Consideração das interações entre os elementos.	Importância de considerar a PE de modo sistêmico, considerando os efeitos sinérgicos entre as práticas enxutas.	Shah e Ward (2003); Bhasin (2011).
Classificação dos elementos (prática-base ou prática-fim).	Identificar quais elementos são bases para a implantação ou a melhoria do desempenho de outros elementos e quais elementos precisam da implantação de outros para ser implantados ou melhorados.	Saurin, Marodin e Ribeiro (2011).
Determinação de escalas de classificação para avaliar o grau de implementação.	Estabelecimento das escalas do nível de implementação da PE, de modo a serem os parâmetros para avaliação do nível real de implementação.	Anvari, Zulkifli e Yusuff (2013); Alemi e Akram (2013); Gurumurthy, Mazumdar e Muthusubramanian (2013).
Determinação de um valor único para o grau de <i>leanness</i> .	Estabelecimento de um valor global único que indique o nível de <i>leanness</i> de um processo produtivo, facilitando a interpretação dos resultados e compreendendo o valor do sistema como um todo.	Wan e Chen (2008); Alemi e Akram (2013); Anvari <i>et al.</i> (2014); Lucato <i>et al.</i> (2014).
Identificação dos elementos mais fracos dentro de um sistema.	De acordo com os resultados obtidos, é possível identificar quais elementos de um sistema devem ser priorizados para alavancar o desempenho global do <i>leanness</i> de um processo produtivo. Essa ação apresenta uma orientação para a empresa, no sentido do que e por onde implantar as melhorias futuras.	Vinodh e Vimal (2012).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Também torna-se necessário abordar as ferramentas utilizadas na avaliação. A próxima seção apresenta uma breve explicação sobre as principais ferramentas utilizadas nos estudos sobre o tema.

2.4 FERRAMENTAS QUANTITATIVAS PARA O *LEAN ASSESSMENT*

Diversas ferramentas têm sido utilizadas na análise quantitativa dos dados de uma pesquisa, inclusive na avaliação do nível de implementação da Produção Enxuta. Cada uma delas possui características peculiares, potencialidades e limitações, sendo adequada para determinados tipos de problemas de pesquisa.

Esta pesquisa concentra-se em avaliar o nível de implementação da PE levando em consideração as relações de interdependências entre as práticas enxutas. A não consideração das interações entre tais práticas faz com que muitas das ferramentas utilizadas nos estudos sobre o tema não estabeleçam um nível de *leanness* adequado para cada organização (WONG; IGNATIUS; SOH, 2012). Por isso, torna-se fundamental analisar algumas ferramentas presentes na literatura e verificar quais as vantagens e desvantagens de cada uma delas para o propósito desta pesquisa.

2.4.1 Lógica *Fuzzy*

A utilização das técnicas de pontuação tem sido criticada, visto que a escala usada sofre de algumas limitações, como a subjetividade e imprecisão das respostas qualitativas (VINODH; PRAKASH; SELVAN, 2011; ANVARI; ZULKIFLI; YUSUFF, 2013), pois o avaliador expressa a pontuação do desempenho e os pesos de importância usando variáveis linguísticas (VINODH; VIMAL, 2012). Matawale, Datta e Mahapatra (2014b) e Susilawati *et al.* (2015) confirmam este argumento, afirmando que, devido à classificação ser atribuída de modo subjetivo e conforme a perspectiva humana, as pontuações são imprecisas, pois é difícil determinar um valor exato que realmente defina um elemento avaliado.

Desse modo, a presença de imprecisão e subjetividade necessita de um sistema de medição que proporcione maior adequação (VIMAL; VINODH, 2013). Assim, a lógica *fuzzy* surge como uma potencial solução para atenuar tal limitação, pois se trata de uma abordagem baseada na lógica humana e que se beneficia da utilização dos seus conceitos para reduzir a imprecisão das respostas qualitativas (VINODH; CHINTHA, 2011; VINODH; BALAJI, 2011; ANVARI; ZULKIFLI; YUSUFF, 2013). Nela, um único valor é convertido em um

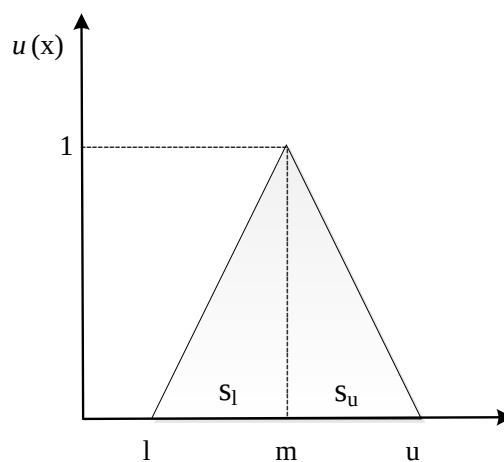
número *fuzzy* (SUSILAWATI *et al.*, 2015) para eliminar ou reduzir desvantagens como imprecisões, subjetividades, ambiguidades e incertezas (VINODH; VIMAL, 2012).

Alguns dos métodos da lógica *fuzzy* podem ser encontrados na literatura, como o conjunto *fuzzy* (*fuzzy set*), as variáveis linguísticas, a distribuição de probabilidade e o *fuzzy* IF-THEN *rules* (VINODH; CHINTHA, 2011), bem como o *fuzzy* TOPSIS (ALEMI; AKRAM, 2013) e o *grey numbers* (MATAWALE; DATTA; MAHAPATRA, 2014b). Logo, é possível perceber que não há um sistema único de conhecimento para a lógica *fuzzy*, e existe uma grande variedade de metodologias propostas para esta ferramenta (ANVARI; ZULKIFLI; YUSUFF, 2013).

Esta abordagem considera, basicamente, duas variáveis: o desempenho e o grau de importância dos elementos. Genericamente, a lógica *fuzzy* consiste converter a classificação subjetiva dada pelo avaliador em números *fuzzy* (VINODH; BALAJI, 2011). O respondente avalia o peso e o desempenho de cada elemento seguindo uma escala pré-determinada, a qual é composta por variáveis linguísticas, que podem variar, por exemplo, de ‘extremamente baixo’ a ‘extremamente alto’. Cada escala de avaliação possui seus próprios números *fuzzy*. Os números *fuzzy* estabelecidos geralmente assumem, predominantemente, formatos triangular ou trapezoidal (GOMIDE; GUDWIN; TANSCHKEIT, 1995).

Os números triangulares *fuzzy* possuem coordenadas (l, m, u) – ver Figura 3 – nas quais l e u são os limites inferior e superior respectivamente (ARUL; ARUMUGAM; PARTHIBAN, 2014), enquanto que m apresenta o máximo valor da função de pertinência $\mu(x)$. A função de pertinência $\mu(x)$ varia entre 0 e 1 e indica o grau de veracidade que o valor *fuzzy* x possui dentro do intervalo $[l, u]$ (OPRICOVIC; TZENG, 2003).

Figura 3 – Número *fuzzy* triangular



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Opricovic e Tzeng (2003), a função de pertinência $\mu(x)$ para um número triangular *fuzzy* é definida pela Equação (1).

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - m + s_l}{s_l}, & x \leq m \\ \frac{m + s_r - x}{s_r}, & x \geq m \\ 0, & x \notin [l, u] \end{cases} \quad (1)$$

Em que:

x = valor único calculado;

$$s_l = m - l$$

$$s_r = u - m$$

De acordo com Lin, Chiu e Tseng (2006) e Akyuz e Celik (2015), o cálculo matemático entre dois conjuntos de números *fuzzy* triangulares obedecem às seguintes propriedades básicas:

$$A_1 \oplus A_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

$$A_1 \ominus A_2 = (l_1, m_1, u_1) \ominus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (3)$$

$$A_1 \otimes A_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (4)$$

$$\frac{A_1}{k} = \left(\frac{l_1}{k}, \frac{m_1}{k}, \frac{u_1}{k} \right) \quad (5)$$

Em que:

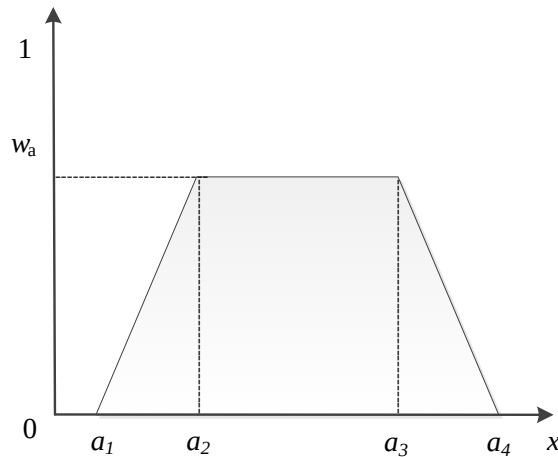
k = número de elementos.

Já os números trapezoidais possuem coordenadas $(a_1, a_2, a_3, a_4; w_a)$ – ver Figura 4 – nas quais $a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4$ e representam os valores *fuzzy* da avaliação, enquanto que $w_a \in [0,1]$ e representa o peso de importância de um elemento (MATAWALE; DATTA; MAHAPATRA, 2015).

A partir do estabelecimento dos números *fuzzy*, a abordagem pode desenvolver diversas metodologias para atingir o objetivo proposto, como, por exemplo, os estudos de Bayou e Korvin (2008), Singh, Garg e Sharma (2010), Vinodh e Vimal (2012), Alemi e Akram (2013), Matawale, Datta e Mahapatra (2014a) e Matawale, Datta e Mahapatra

(2014b), os quais desenvolveram sequências distintas entre si para chegar ao estabelecimento do valor de *leanness* da empresa.

Figura 4 – Número *fuzzy* trapezoidal



Fonte: Elaborado pelo autor.

A defuzzificação é a fase da lógica *fuzzy* que consiste em selecionar um valor único baseado nos números *fuzzy*, ou seja, converter os números *fuzzy* em um único valor (OPRICOVIC; TZENG, 2003). Para realizar a defuzzificação, pode-se encontrar diversos métodos na literatura, como o método do Centroide, o CFCS *phase – Converting the Fuzzy data into Crisp Scores*, a distância Euclideana, a distância de Mahalanobis, o BNP – *best non-fuzzy performance*, dentre outros.

Portanto, a lógica *fuzzy* é uma ferramenta bastante utilizada nas pesquisas quantitativas. Entretanto, ela possui limitações em relação ao que este estudo se propõe, como a não consideração das influências entre os elementos, bem como a impossibilidade de classificar os elementos quanto a sua importância e influência dentro do sistema.

2.4.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é uma ferramenta desenvolvida por Saaty em 1980 (NASAB; BIOKI; ZARE, 2012; ANVARI *et al.*, 2014). Ele desenvolveu o AHP para resolver problemas de tomada de decisão multicritério e determinar as hierarquizações das alternativas de decisão (NASAB; BIOKI; ZARE, 2012). De acordo com Nasab, Bioki e Zare (2012) e Azadeh *et al.* (2015), no AHP, tanto o critério qualitativo como o quantitativo são considerados, além de ser baseado nas comparações par a par (ou pareadas) entre os elementos estudados para estabelecer hierarquizações entre eles.

Os tomadores de decisão devem estabelecer as relações de importância entre os critérios (comparação par a par), dentro de uma escala que varia de 1 (extremamente baixa) a 9 (extremamente alta). Neste caso, por exemplo, é possível enxergar uma primeira característica do AHP: se um critério tiver uma importância de X vezes maior em relação a outro critério, a recíproca deverá ser necessariamente o inverso, ou seja, $1/X$ (SAATY; VARGAS, 2006). O Quadro 9 apresenta a escala de importância do AHP.

Quadro 9 – Escala AHP

Escala	Nível de importância (escala subjetiva)
1	Igual importância
2	Fraca
3	Moderada
4	Razoavelmente moderada
5	Forte
6	Razoavelmente forte
7	Muito forte
8	Muito, muito forte
9	Extremamente forte

Fonte: Saaty e Vargas (2006).

O AHP consiste de uma relação unidirecional, uma vez que segue uma hierarquização do sistema. A ferramenta percorre as seguintes etapas, conforme a literatura (CHAUHAN; SINGH, 2012; RAVIKUMAR *et al.*, 2013; ALMOMANI *et al.*, 2014):

- Estruturação do sistema para tomada de decisão: desdobrar a estrutura, separando os seguintes elementos: objetivo, critérios, subcritérios e alternativas;
- Estabelecimento da prioridade relativa dos critérios: realização da comparação par a par (*pairwise comparison*) entre os critérios, ilustrada na Tabela 3;

Tabela 3 – Comparação par a par entre os elementos

Critério	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	2	2	3	1/2
C2	1/2	1	1/3	4	7
C3	1/2	3	1	1/5	1/8
C4	1/3	1/4	5	1	9
C5	2	1/7	8	1/9	1
SOMA	4,333	6,393	16,333	8,311	17,625

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Normalização dos valores: divisão de cada célula pelo somatório de cada coluna, apresentada na Tabela 4;

Tabela 4 – Normalização dos valores

Critério	C1	C2	C3	C4	C5	Normalizado (%)
C1	0,2308	0,3128	0,1225	0,3610	0,0284	21,11%
C2	0,1154	0,1564	0,0204	0,4813	0,3972	23,41%
C3	0,1154	0,4693	0,0612	0,0241	0,0071	13,54%
C4	0,0769	0,0391	0,3061	0,1203	0,5106	21,06%
C5	0,4616	0,0224	0,4898	0,0134	0,0567	20,88%
SOMA	4,333	6,393	16,333	8,311	17,625	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Estabelecimento da prioridade relativa entre as alternativas: escolha da melhor alternativa para o problema, a qual apresenta maior percentual, mostrado na Tabela 4.

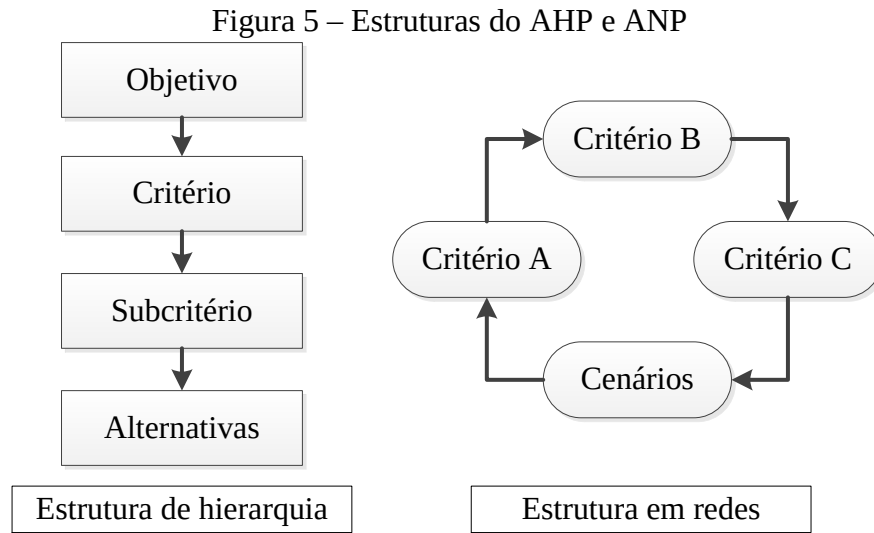
Dessa forma, pode-se entender que o AHP fornece uma sólida estrutura hierárquica para os problemas de decisão, permitindo combinar múltiplas entradas provenientes de vários especialistas para um resultado consolidado, além de ser alcançado por meio de cálculos simples. Contudo, sua metodologia não possibilita considerar as inter-relações que possivelmente existam no sistema (SABHARWAL; GARG, 2013), além da avaliação recíproca pela comparação par a par ser necessariamente o inverso da original. Para fins desta pesquisa, estas características são consideradas limitações da ferramenta.

2.4.3 Analytic Network Process (ANP)

O *Analytic Network Process* (ANP) é uma ferramenta de decisão multicritério utilizada para obter a prioridade relativa de vários elementos em uma decisão (MAJOR; BELDERRAIN, 2008). Enquanto que o AHP considera uma relação unidirecional, o ANP possibilita a consideração das interdependências entre os critérios (AGARWAL; SHANKAR; TIWARI, 2006; WONG; IGNATIUS; SOH, 2012). Portanto, conforme mencionado por Wong e Wong (2014), justifica-se utilizar o ANP devido à sua capacidade de compreender um alto nível de complexidade nas relações entre critérios e subcritérios.

O ANP contém o AHP na sua metodologia, porém não considera a estrutura como uma forma hierárquica. Pelo contrário, o ANP, por considerar todas as possíveis relações entre critérios, subcritérios e alternativas, agrupa os elementos em *clusters* e analisa o sistema como uma rede, ou seja, sob uma forma multidirecional (SAATY; VARGAS, 2006). De acordo com Saaty e Vargas (2006), esta é a principal diferença entre as ferramentas AHP e ANP. Por isso, para poder tratar todas as dependências entre os elementos de um mesmo nível

hierárquico, os problemas são formulados em redes, e não em hierarquias (SALOMON; MONTEVECHI, 1998). A Figura 5 apresenta a diferença entre AHP e ANP na abordagem da estrutura.



Fonte: Saaty e Vargas (2006).

De acordo com a literatura, a metodologia do ANP segue, geralmente, as seguintes etapas (SALOMON; MONTEVECHI, 1998; SAATY; VARGAS, 2006; AGARWAL; SHANKAR; TIWARI, 2006; MAJOR; BELDERRAIN, 2008; WONG; IGNATIUS; SOH, 2012):

- Estabelecimento do objetivo, dos critérios, subcritérios e alternativas: esta é a primeira atividade que os tomadores de decisão precisam realizar. O estabelecimento desses elementos norteará toda a metodologia;
- Construção dos *clusters* para os critérios e alternativas: os tomadores de decisão precisam identificar e agrupar os elementos que possuem relacionamento, para que o sistema possa ser analisado em rede;
- Realização da comparação par a par: assim como no AHP, o ANP também requer a realização desta etapa para calcular e definir a importância relativa entre os critérios e das alternativas para os critérios. Esta fase finaliza após a normalização de todas as linhas, cada uma delas representando um critério ou alternativa;
- Construção da supermatriz original: a supermatriz é construída com todos os valores normalizados dos critérios e alternativas, formando uma matriz $n \times n$;

- Cálculo da supermatriz ponderada: esta fase é realizada multiplicando-se os valores da supermatriz original pela importância dos critérios e alternativas, retirada da matriz de alcance global;
- Cálculo da supermatriz limite: multiplica-se a matriz ponderada por ela mesma até a enésima potência, até que os seus valores tornem-se constantes após a multiplicação;
- Normalização da supermatriz limite: esta é a última etapa da metodologia, dividindo-se os valores da supermatriz limite pelo somatório de cada bloco, representado por critérios e alternativas.

Assim, é possível compreender a importância do ANP para avaliar o desempenho de um sistema, visto que nem todos os elementos constituintes são igualmente importantes para a determinação e alcance do desempenho global (CIL; TURKAN, 2013), bem como é necessário considerar todas as possíveis interdependências entre tais elementos. Além disso, pelo fato de considerar as relações, o ANP proporciona uma compreensão mais detalhada sobre um problema, sendo estas as principais vantagens desta ferramenta. Por outro lado, o ANP requer uma grande quantidade de avaliações para os entrevistados, sendo extremamente desgastante, mesmo com o auxílio de programas computacionais. Por fim, o fato da avaliação recíproca pela comparação par a par ser necessariamente o inverso da original (mesma limitação do AHP) também se constitui uma limitação para o ANP.

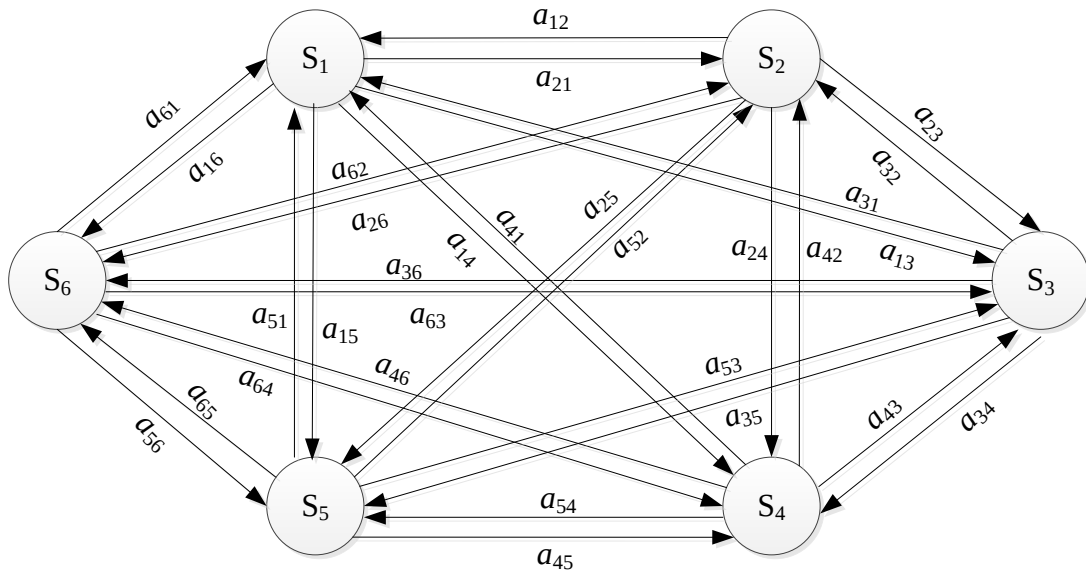
2.4.4 Graph Theoretic Approach (GTA)

De acordo com Rajesh, Nikhil e Vivek (2013), o *Graph Theoretic Approach* (GTA) é uma abordagem sistemática e lógica que considera a inter-relação entre os diferentes elementos, chamados de fatores e subfatores, fornecendo um resultado global. Conforme explicado pelos autores, a ferramenta consiste de 3 pilares: os grafos, as matrizes e o cálculo dos permanentes. Esses pilares serão moldados mediante a formação dos fatores e subfatores empregados.

Um grafo é composto de círculos e setas, também chamados de vértices e arestas, respectivamente (HASSAN; HOGG, 1987). De acordo com os autores, os círculos representam os elementos de cada fator ($S_1, S_2, \dots, S_n$). Cada elemento do fator pode exercer ou sofrer influência dos demais elementos constituintes. Por isso, as setas representam as interdependências entre eles (HASSAN; HOGG, 1987). Segundo Baykasoglu (2014), esse

relacionamento de influência de um elemento sobre o desempenho de outro, simbolizado na Figura 6 pela variável a_{ij} , deve ser quantificado.

Figura 6 – Construção do grafo



Fonte: Rajesh, Nikhil e Vivek (2013).

Após a construção dos grafos dos diferentes fatores é necessário construir as matrizes de cada fator. A matriz considera os desempenhos de todos os subfatores que compõem um fator e todas as interações existentes, gerando um panorama completo do fator (GURUMURTHY; MAZUMDAR; MUTHUSUBRAMANIAN, 2013). Ela é composta pelos desempenhos de cada subfator na diagonal principal (simbolizados pela variável S_i) e a quantificação da influência de um elemento sobre outro (simbolizados pela variável a_{ij}). Os avaliadores estabelecem uma avaliação do desempenho de cada elemento seguindo uma escala igual à do AHP (ANAND; BAHINIPATI, 2012; GURUMURTHY; MAZUMDAR; MUTHUSUBRAMANIAN, 2013), variando de 1 (extremamente baixo) a 9 (extremamente alto), enquanto que as influências entre as práticas são avaliadas sob uma escala que está entre 0 (não existe influência) e 5 (influência muito forte). Porém, esta é apenas uma ideia. Na prática, em ambos os casos, as escalas são definidas pelo próprio pesquisador. A matriz construída pode ser exemplificada pela matriz abaixo, que possui n elementos:

$$\begin{bmatrix} S_1 & a_{12} & a_{13} & \dots & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & S_2 & a_{23} & \dots & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & S_3 & \dots & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & \dots & S_n \end{bmatrix}$$

De acordo com Sethi e Agrawal (1993), os elementos da matriz fornecem todas as informações sobre o sistema. Porém, de acordo com os autores, ela necessita de uma função de matriz que atenda a todas as suas permutações. Sendo assim, calcula-se o permanente da matriz de cada fator por meio da Equação (6), apresentada por Sethi e Agrawal (1993). Ele contém $n!$ termos, compostos tanto pela diagonal principal quanto fora dela. Para fins de cálculo, o permanente segue a mesma lógica do determinante de matrizes, exceto pelo fato de que todos os sinais numéricos utilizados no permanente são positivos (RAJESH; NIKHIL; VIVEK, 2013). O permanente encontrado equivale ao desempenho de cada fator, o que mostra a sua capacidade de avaliar um fator em função dos desempenhos de todos os seus subfatores e todas as interligações que possam existir nesse microssistema.

$$\begin{aligned}
Per(A) = & \prod_{i=1}^n S_{il} + \sum_i \sum_j \sum_k \dots \sum_n (a_{ij}^2) S_{kk} \dots S_{nn} \\
& + 2 \left(\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \dots \sum_n (a_{ij} a_{jk} a_{ki}) S_{ll} \dots S_{nn} \right) \\
& + 2 \left(\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \dots \sum_n (a_{ij} a_{jk} a_{kl} a_{li}) S_{mm} \dots S_{nn} \right) \\
& + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \dots \sum_n (a_{ij}^2 a_{kl}^2) S_{mm} \dots S_{nn} + \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
& + \sum_i \sum_j \dots \sum_r \dots \sum_n (a_{ij} a_{jk} \dots a_{ri}) (a_{(n-1)(n)}^2) \\
& + \sum_i \sum_j \dots \sum_r \dots \sum_n (a_{ij} a_{jk} \dots a_{ri}) (a_{(p-2)(p-3)}^2 a_{(p-1)(n)}^2) \\
& + \sum_i \sum_j \dots \sum_n (a_{ij}^2 a_{kl}^2 \dots a_{(n-1)(n)}^2)
\end{aligned} \tag{6}$$

Anand e Bahinipati (2012) destacam que os passos adotados para avaliar cada fator individualmente são repetidos para avaliar o desempenho de todo o sistema, considerando agora as possíveis interações existentes entre os fatores.

O GTA tem como vantagem o fato de considerar as interdependências entre os elementos do sistema e ser executado por meio de cálculos simples, pois considera em um mesmo cálculo o desempenho e as influências dos componentes. Porém, a avaliação humana para a atribuição de *scores* deixa margens para ambiguidade, e isso pode comprometer toda a avaliação.

2.4.5 Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)

De acordo com Wu e Lee (2007), o *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) se tornou bastante popular no Japão devido a sua característica pragmática em visualizar a estrutura de relações complexas. De fato, o DEMATEL possui uma abordagem eficaz para construir e analisar um sistema e identificar a relação de influência entre os elementos de tal sistema (SEYEDHOSSEINI *et al.*, 2011; CHANG; CHANG; WU, 2011).

Geralmente, esta ferramenta é adequada quando se pretende identificar as possíveis relações entre componentes de um sistema e quando se deseja determinar as relações de causa e efeito e dependência entre os componentes (SEYEDHOSSEINI *et al.*, 2011), pois o DEMATEL pode transformar os inúmeros relacionamentos em um modelo estrutural inteligível (CHANG; CHANG; WU, 2011).

Existem dois elementos básicos que compõem o DEMATEL: os grafos, que estabelecem as relações entre os elementos, e as matrizes, que apresentam e quantificam os relacionamentos.

Após analisar uma parte da literatura sobre a ferramenta (WU; LEE, 2007; WU, 2008; TSENG, 2009; SHIEH; WU; HUANG, 2010; CHANG; CHANG; WU, 2011; ZHOU; HUANG; ZHANG, 2011; LIN, 2013), constata-se que o DEMATEL geralmente segue a metodologia abaixo:

- Identificação de todos os elementos a serem avaliados: esta é a primeira tarefa a ser desenvolvida no DEMATEL. É preciso identificar todos os elementos que compõem o estudo.
- Avaliação da influência entre os elementos: nesta etapa, avaliadores ou especialistas podem avaliar a influência que um elemento exerce sobre outro, formando uma matriz $n \times n$. A avaliação geralmente obedece a uma escala que varia de 0 (nenhuma influência) a 4 (influência muito alta). Com isso, a matriz $n \times n$ é formada, com sua diagonal principal sempre igual a 0.
- Elaboração da matriz média: como cada avaliador gera uma matriz de relacionamento dos elementos, torna-se necessário calcular as médias de cada relacionamento e construir uma

única matriz de relacionamento, chamada de matriz média. A Equação (7) apresenta o cálculo, na qual:

$$a_{ij} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^n x_{ij}^k \quad (7)$$

H = número de avaliadores ou especialistas;

x_{ij} = elementos da matriz;

$$A = \begin{bmatrix} a_{ii} & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ a_{ji} & a_{jj} & \dots & a_{jn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{ni} & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

- Normalização da matriz de relação direta inicial: após calcular a matriz média, deve-se normalizá-la. Conforme apresentado na Equação (8), o parâmetro de normalização será a linha da matriz com maior somatório. Em seguida, normaliza-se a matriz de relação direta inicial executando a Equação (9), na qual:

$$K = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (8)$$

K = valor de normalização;

A = matriz média;

D = matriz de relação direta inicial;

$$D = A \times K \quad (9)$$

- Determinação da matriz de relação final: deve-se subtrair a matriz de relação direta inicial da matriz identidade, também de ordem n x n. A diferença apresentará uma matriz n x n. Por último, a matriz inversa encontrada será multiplicada pela matriz de relação direta inicial, estabelecendo a matriz de relação final. A Equação (10) apresenta o cálculo, em que:

$$T = D \times (I - D)^{-1} \quad (10)$$

T = matriz de relação final;

D = matriz de relação direta inicial;

I = matriz identidade;

- Estabelecimento dos valores do grafo: para analisar o comportamento de cada elemento do sistema, é necessário verificar dois pontos: o nível de prioridade de cada um

deles e classificá-los conforme os níveis de relacionamentos. O produto final será um grafo com coordenadas $(L + C, L - C)$ de cada elemento, ilustrado na Figura 7. As Equações (11) e (12) mostram os cálculos;

$$L_n = \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} \right] \quad (11)$$

L_n = somatório da linha da matriz referente ao elemento n ;

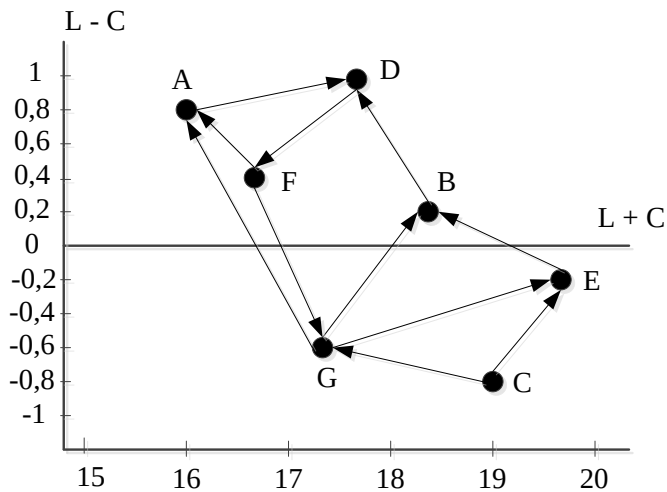
$$C_n = \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} \right] \quad (12)$$

C_n = somatório da coluna da matriz referente ao elemento n ;

$L + C$ = indica quais elementos, de modo geral, são mais importantes para o sistema;

$L - C$ = indica que elementos são mais ou menos influenciados por outros;

Figura 7 - Grafo de coordenadas DEMATEL



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse modo, o DEMATEL possui a vantagem de considerar todas as influências entre os elementos (SEYEDHOSSEINI *et al.*, 2011), além de hierarquizar os elementos pela importância de cada um, a fim de priorizar os elementos de maior valor. Outra vantagem do DEMATEL é classificar os elementos como dependentes ou independentes de outros, conforme mostrado pela subtração $L_n - C_n$: se a diferença entre linha e coluna de um elemento for maior que 0, significa que o elemento é importante para a implantação de outro; caso contrário, o elemento é classificado como dependente da presença de outro elemento para ser bem implantado.

Entretanto, pelo fato do seu produto final ser uma matriz de ordem $n \times n$, esta ferramenta torna-se incompleta para os fins desta pesquisa, pois sua metodologia não gera um único valor, que seria útil para indicar o grau de *leanness* de uma organização.

2.4.6 Data Envelopment Analysis (DEA)

Data Envelopment Analysis (DEA) é uma ferramenta não paramétrica baseada em programação matemática para mensurar a eficiência das unidades de tomada de decisão (DMU). O DEA determina a eficiência relativa de uma DMU realizando a divisão entre a soma ponderada de todas as saídas (*outputs*) e a soma ponderada de todas as entradas (*inputs*) de um sistema (RUBEM; BRANDÃO, 2015).

Os modelos clássicos do DEA foram introduzidos por Charnes, Cooper e Rhodes (1978). O modelo original Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) compara as variáveis de entrada e saída de um conjunto de unidades de tomada de decisões (DMU) para identificar as melhores práticas entre eles (WAN; CHEN, 2008). A Equação (13) apresenta esta lógica:

$$Max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^t u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (13)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^t u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Em que:

u, v, x e y são variáveis não negativas;

h_0 = eficiência da DMU;

x_{ij} = variável de entrada i da DMU;

y_{rj} = variável de saída r da DMU;

n = número de DMUs;

v_i = peso da variável de entrada i ;

u_r = peso da variável de saída r ;

m = número de variáveis de entrada;

t = número de variáveis de saída.

De acordo com Lins *et al.* (2007), o conjunto de DMUs deve ser homogêneo, possuindo e utilizando os mesmos *inputs* e produzindo os mesmos *outputs*.

A maior limitação matemática do modelo clássico CCR é que podem ser atribuídos pesos nulos para variáveis consideradas importantes durante a busca pela solução ótima, gerando, por conseguinte, modelos fora da realidade (LINS *et al.*, 2007). Isso pode ser confirmado por Wan e Chen (2008), quando eles concluíram que o modelo CCR não era adequado para calcular o grau de *leanness* de uma organização, pois o modelo superestimava o índice de *leanness*. Por isso, Wan e Chen (2008) utilizaram o *slack-based measure* (SBM) para desenvolver um modelo para avaliar o *leanness* de uma empresa por meio do DEA.

O DEA consiste de uma forma relativamente recente para avaliação de desempenho de um sistema, além de possibilitar a realização de um *benchmarking* a partir de dados históricos. Mas, pelo fato do DEA não considerar as potenciais relações existentes no sistema, apresentar imprecisão por atribuir valores unidimensionais e não apresentar um valor único na sua metodologia, essa ferramenta se torna inadequada para o propósito desta pesquisa.

2.4.7 Pertinência das ferramentas aos requisitos propostos

Com o intuito de analisar as ferramentas listadas no tópico anterior quanto ao atendimento aos requisitos propostos no Quadro 8, apresenta-se o Quadro 10.

Quadro 10 – Adequação das ferramentas aos requisitos do modelo proposto

Requisito/ Ferramenta	Fuzzy	AHP	ANP	GTA	DEMATEL	DEA
Redução da imprecisão						
Agrupamento dos elementos						
Consideração das interações entre os elementos						
Classificação dos elementos (prática-base ou prática-fim)						
Determinação de escalas de classificação para avaliar o grau de implementação						
Valor único para o <i>leanness</i>						
Identificação dos elementos mais fracos						
LEGENDA:						
	Atende ao requisito					
	Não atende ao requisito					

Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo, conforme demonstra o Quadro 10, é nítida a necessidade de combinar duas ou mais ferramentas para atingir o objetivo da pesquisa. Anvari *et al.* (2014) declaram que uma única ferramenta não é suficiente para satisfazer os requisitos do problema, sendo, então, recomendável a integração de outras ferramentas para resolver dada limitação.

Sendo assim, as ferramentas selecionadas para a construção do modelo foram a lógica *fuzzy* (devido ao fato de ser capaz de reduzir a imprecisão da avaliação subjetiva e determinar as escalas de classificação para avaliar a PE) combinada com o GTA (por agrupar os elementos e considerar suas relações, bem como de estabelecer o valor de *leanness*) e DEMATEL (por conseguir classificar os elementos e considerar suas relações, além de identificar os elementos mais fracos e mais importantes para um determinado sistema).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados conceitos clássicos sobre a Produção Enxuta, assim como o seu objetivo, os tipos de desperdícios existentes, uma definição adotada com base na literatura e os conceitos sobre as práticas enxutas adotadas na manufatura. Deve-se destacar a consideração e a descrição das possíveis relações de interdependência existentes entre as práticas, visando à formação de *bundles* de práticas (ou pacotes de práticas).

Também foram apresentados a importância da avaliação da implementação da PE e o conceito de *leanness*, que corresponde ao indicador mais comum e utilizado para essa mensuração. Em seguida, os estudos sobre o tema foram elencados conforme suas considerações (se por indicadores de resultado, por práticas enxutas ou de suporte, nível de prontidão ou avaliação da cadeia de suprimentos). A partir de então realizou-se a análise dos estudos que avaliaram a PE considerando apenas as práticas enxutas (considerado nesta pesquisa), com o intuito principal de constatar se eles consideraram ou não os efeitos das relações de interdependências entre as práticas. Também foram elencados os principais *bundles* e práticas utilizados na literatura sobre PE.

Por fim, tornou-se necessário analisar as principais ferramentas de análise quantitativa utilizadas nos diversos estudos sobre o tema, destacando suas características, metodologias, vantagens e limitações. Assim, com base na revisão da literatura sobre práticas e *bundles* da PE, bem como da revisão sobre as ferramentas de análise quantitativa, foi possível diagnosticar alguns requisitos necessários para a realização de uma avaliação da PE de maneira adequada, possibilitando vislumbrar potenciais ferramentas para o propósito desta pesquisa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresentou a metodologia utilizada na pesquisa, compreendendo a caracterização da pesquisa, o fluxo da revisão da literatura, os procedimentos técnicos adotados para a coleta e análise de dados e, por último, o desenvolvimento e apresentação do modelo referencial proposto para avaliação do nível de implementação da Produção Enxuta.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Para alinhar e fundamentar este trabalho, foi necessário realizar uma classificação da pesquisa quanto à natureza, à abordagem de pesquisa, ao método de pesquisa e aos procedimentos metodológicos.

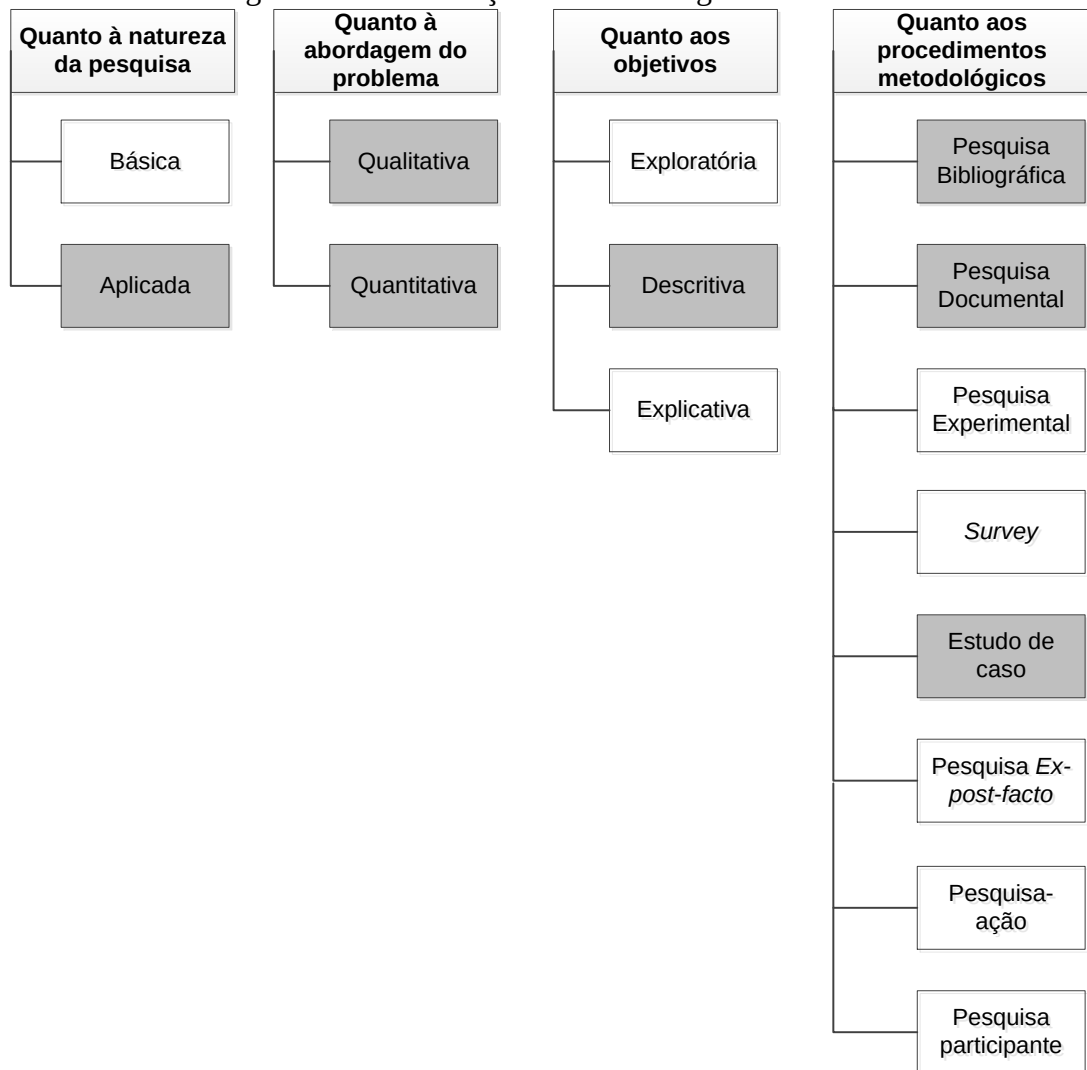
De acordo com o sistema de classificação de Prodanov e Freitas (2013), essa pesquisa foi caracterizada como uma pesquisa **aplicada e descritiva** de abordagem **quali-quantitativa**, visto que foram utilizadas as abordagens qualitativa (nas entrevistas com os gestores e aplicação do *Delphi*, por meio de questionário, com os especialistas) e quantitativa (na qual os dados coletados durante as entrevistas foram introduzidos no modelo proposto). Além disso, foi realizado um **estudo de caso** em uma montadora do setor automotivo com **pesquisa bibliográfica e documental** visando a testar a aplicabilidade do modelo referencial.

A Figura 8 resume a classificação metodológica da pesquisa quanto à natureza, à abordagem, aos objetivos e aos procedimentos metodológicos. Os *boxes* sombreados correspondem aos adotados nesta pesquisa.

3.2 MODELO REFERENCIAL PROPOSTO

Considerando os requisitos para construção do modelo de avaliação da implementação da PE, constantes no Quadro 8 da seção 2.3.2, juntamente com as observações realizadas no Quadro 10 da seção 2.4.7, o qual analisou o atendimento de ferramentas de análise quantitativa a tais requisitos estabelecidos, tornou-se possível, então, o desenvolvimento de um modelo referencial de avaliação do nível de implementação da PE que atendessem a todos os requisitos estabelecidos.

Figura 8 – Classificação da metodologia adotada

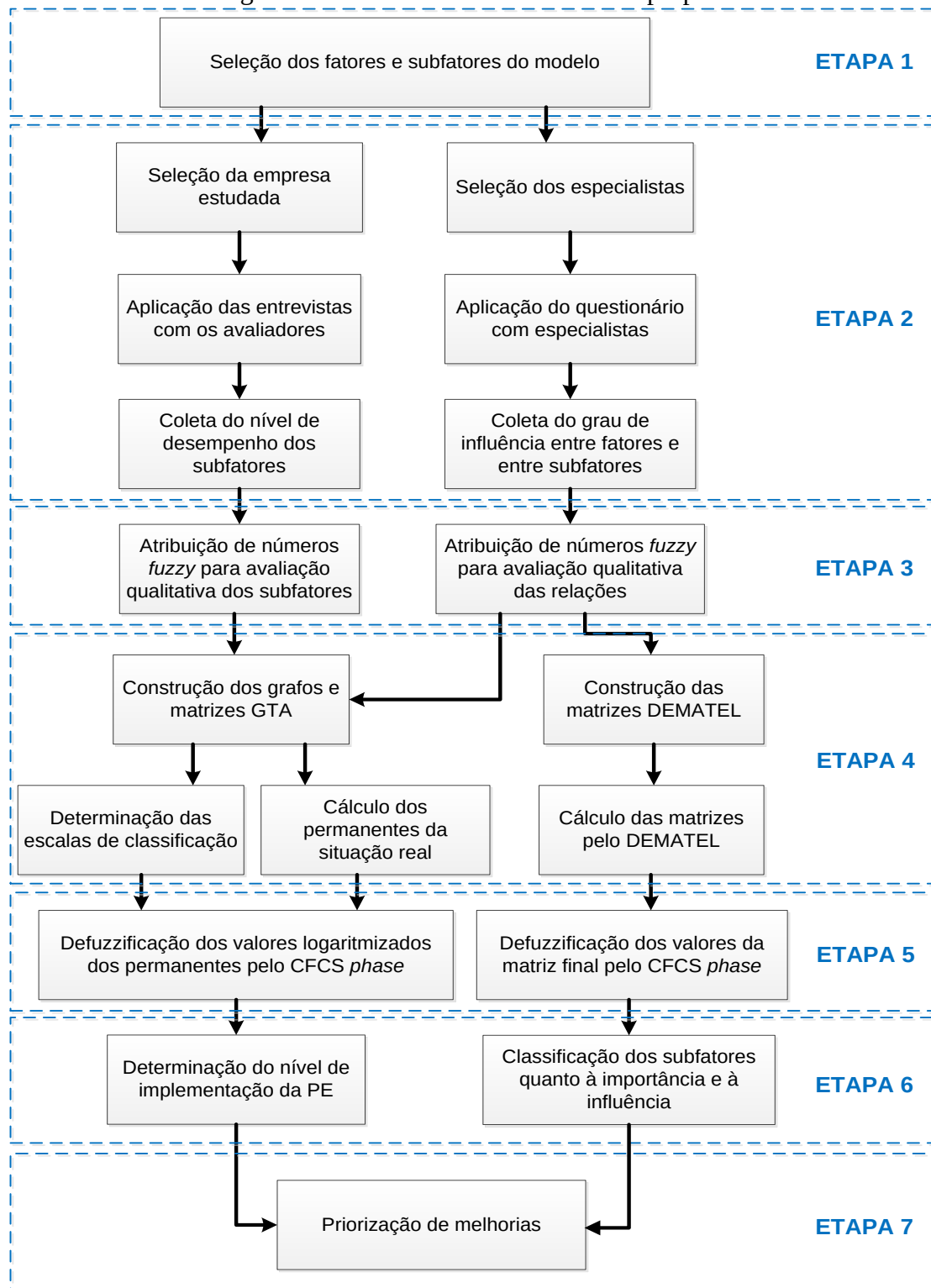


Fonte: Elaborado pelo autor.

Desta maneira, o modelo proposto neste estudo utilizou a combinação *Fuzzy-GTA* para avaliação do nível de implementação da PE, enquanto que a combinação *Fuzzy-DEMATEL* foi base para a classificação dos elementos quanto à importância de cada um deles dentro dos seus respectivos fatores, considerando as relações como critério para a classificação. Por fim, a junção dos diagnósticos extraídos do *fuzzy-GTA* e do *fuzzy-DEMATEL* auxiliou na identificação das prioridades de melhorias para elevar o nível de implementação da PE do processo produtivo da empresa em ações futuras.

As combinações entre as ferramentas citadas acima foram necessárias em virtude de elas não conseguirem, isoladamente, atender a todos os requisitos propostos para o modelo de avaliação, conforme apresentado no Quadro 10.

Figura 9 – Fluxo do modelo referencial proposto



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 9 apresenta o fluxo da metodologia adotada por esta pesquisa, consistindo de 7 etapas: seleção dos fatores e subfatores das práticas enxutas; seleção e pesquisa com os especialistas e entrevistas com os gestores; atribuição de números *fuzzy* para as respostas dos especialistas e gestores; execução do GTA e do DEMATEL; estabelecimento de um valor

único para os números *fuzzy* (defuzzificação); determinação do nível de implementação da PE e classificação das práticas; e análise de melhoria dos fatores.

3.2.1 Etapa 1: Determinação dos fatores e subfatores

A primeira etapa do modelo referencial envolveu a determinação dos fatores e subfatores que compuseram os *bundles* e práticas da Produção Enxuta, respectivamente. Os fatores e subfatores foram utilizados nas avaliações do *fuzzy-GTA* e *fuzzy-DEMATEL*.

Para determinar os subfatores envolvidos no estudo, foram contabilizadas as participações das práticas enxutas nos 52 artigos selecionados sobre o tema avaliação da Produção Enxuta. Da mesma forma para os fatores, foram revisadas as utilizações dos *bundles* em 17 trabalhos publicados sobre o tema Produção Enxuta, selecionados a partir de uma busca específica para esta finalidade e independente da seleção dos 52 artigos anteriores. Tais levantamentos foram apresentados na seção 2.2.2 desse estudo.

A alocação dos subfatores em cada fator seguiu a relação existente entre as principais práticas elencadas na Tabela 1 e os principais *bundles* listados nos estudos do Quadro 3. Dessa forma, a presente pesquisa adotou os seguintes fatores (*bundles*) e subfatores (práticas) para avaliar o nível de implementação da PE. Eles estão contidos no Quadro 11.

Quadro 11 – Fatores e subfatores utilizados nesta pesquisa

Fatores		Subfatores	
F ₁	Just in Time (JIT)	S ₁₁	Redução do tempo de <i>setup</i>
		S ₁₂	Sistema <i>kanban</i>
		S ₁₃	Nivelamento da produção (<i>Heijunka</i>)
		S ₁₄	Integração com fornecedores
F ₂	Gestão de Processos (GP)	S ₂₁	Padronização das operações
		S ₂₂	Trabalhadores multifuncionais
		S ₂₃	Sincronização pelo <i>takt time</i>
		S ₂₄	<i>Layout</i> celular
		S ₂₅	Manutenção Produtiva Total (TPM)
		S ₂₆	Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)
F ₃	Total Quality Management (TQM)	S ₃₁	Controle Estatístico do Processo (CEP)
		S ₃₂	Uso de ferramentas da qualidade
		S ₃₃	<i>Poka yoke</i>
		S ₃₄	Autonomia (<i>Jidoka</i>)
		S ₃₅	5S
		S ₃₆	Gestão visual
F ₄	Fatores Humanos (FH)	S ₄₁	Compartilhamento de informações
		S ₄₂	Comprometimento da liderança e alta gerência
		S ₄₃	Treinamentos <i>lean</i>
		S ₄₄	Atividades de Pequenos Grupos (APGs)

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Etapa 2: Seleção e coleta de dados da empresa e dos especialistas

Esta etapa foi composta por dois passos, os quais ocorreram simultaneamente, conforme se apresenta a seguir.

3.2.2.1 Seleção da empresa e entrevista com os avaliadores

Este estudo pretendeu, a partir do desenvolvimento do modelo proposto, avaliar o nível de implementação da Produção Enxuta dentro de uma empresa. Esta avaliação foi necessária para testar a aplicabilidade do modelo. Logo, a empresa selecionada para o estudo precisava, necessariamente, já ter a PE implantada em seu processo produtivo para que o modelo fosse capaz de avaliar o progresso da PE. Por isso, foi selecionada uma montadora de automóveis que possui a PE implantada no seu processo. Ela foi identificada nesta pesquisa como Empresa X, a fim de preservar o sigilo das informações coletadas em sua planta fabril.

Foi necessária também a elaboração de um roteiro de entrevista semiestruturado que contemplasse todas as práticas enxutas selecionadas para o modelo. Tais elementos estão representados pelos subfatores elencados na etapa 1. O roteiro foi seguido durante as entrevistas presenciais com os gestores da empresa, visando à coleta do desempenho atual de cada elemento enxuto. Os desempenhos avaliados pelos entrevistados foram dados por notas seguidas de justificativas.

O Apêndice A apresenta o roteiro de entrevista que orientou o pesquisador durante a coleta de dados. Sua elaboração foi baseada nos roteiros dos estudos de Cua, Mckone e Schroeder (2001), Saurin e Ferreira (2008), Dal Pont, Furlan e Vinelli (2008), Nogueira e Saurin (2008), Shetty, Ali e Cummings (2010), Campos (2011), Al-Najem *et al.* (2013), Vilar (2014), Bortolotti, Boscari e Danese (2015) e Garza-Reyes, Ates e Kumar (2015). Algumas perguntas foram acrescentadas ao longo das entrevistas após observações durante as visitas ao processo produtivo.

Os desempenhos dos subfatores foram coletados por meio da entrevista com três avaliadores da empresa selecionada. Eles foram os responsáveis por atribuir as notas para cada subfator por serem considerados os indivíduos mais capacitados para avaliar de maneira real e pertinente, visto que os avaliadores designados para as entrevistas são conhecedores do processo produtivo e da operacionalização das práticas enxutas.

Cada um dos entrevistados avaliou os vinte subfatores adotados no modelo. Suas avaliações foram baseadas no desempenho das práticas em todos os processos produtivos da

empresa (prensagem, funilaria, pintura e montagem). Buscando tornar viável o teste completo do modelo, optou-se por considerar todo o sistema produtivo, pois algumas práticas não são aplicadas em todos os processos da empresa.

As entrevistas foram realizadas individualmente com cada analista, e para cada analista foram necessárias 3 reuniões com duração de 1 hora a cada sessão. No total foram investidas 9 horas para a coleta dos desempenhos das 20 práticas com os avaliadores.

O desempenho avaliado pelos entrevistados foi dado por notas seguidas de justificativas. Dessa maneira, considerando a lógica *fuzzy*, o Quadro 12 apresenta as variáveis linguísticas do desempenho de cada elemento, variando de ‘não existente, mas necessário’ a ‘extremamente alto’, que foram adotadas nesta pesquisa.

Quadro 12 – Escala qualitativa para os desempenhos das práticas enxutas

Variável linguística de desempenho	Abreviação
Não existente, mas necessário	NE
Extremamente baixo	EB
Muito baixo	MB
Baixo	B
Razoavelmente baixo	RB
Médio	M
Razoavelmente alto	RA
Alto	A
Muito alto	MA
Extremamente alto	EA

Fonte: Adaptado de Sethi e Agrawal (1993).

Caso não existisse, no processo produtivo da Empresa X, a presença de um subfator constante no modelo e este não fosse necessário para o sistema testado, o subfator em questão deveria ser retirado do modelo para não interferir negativamente na avaliação. No entanto, não houve casos como este e, portanto, todos os subfatores foram mantidos na avaliação.

3.2.2.2 Seleção e pesquisa com os especialistas

O modelo de avaliação do nível de implementação da PE requisitou a consideração das possíveis relações de influência existentes entre os *bundles* e entre as práticas. Portanto, a relação de influência entre os elementos foi a segunda variável a ser coletada para avaliar a PE de maneira adequada.

Para a coleta das possíveis relações existentes entre os elementos, foi solicitada a participação de especialistas para atribuir tais avaliações. Os especialistas foram pesquisadores acadêmicos, consultores e profissionais que concentram seus estudos e

experiências sobre o tema Produção Enxuta. Sendo assim, este estudo apresentou uma consistência científica e teórica, visto que a intensidade dessas relações foi quantificada de maneira imparcial e fundamentada no conhecimento de tais elementos.

Os especialistas avaliaram a existência ou não de relações entre os elementos. Caso houvesse, as repostas estiveram conforme variáveis linguísticas que variavam de ‘influência muito baixa’ a ‘influência muito alta’, as quais são mostradas no Quadro 13.

Quadro 13 – Variáveis linguísticas das relações entre os elementos

Variáveis linguísticas das relações	Abreviação
Sem influência	No
Influência muito baixa	IMB
Influência baixa	IB
Influência média	IM
Influência alta	IA
Influência muito alta	IMA

Fonte: Adaptado de Sethi e Agrawal (1993).

Este estudo utilizou a técnica *Delphi* durante a fase de coleta das respostas sobre as possíveis influências entre os *bundles* e entre as práticas, pois o *Delphi* tem por objetivo alcançar o consenso entre as respostas dos especialistas (SANTOS; VIDOTTO; GIUBLIN, 2005).

Além disso, visto que avaliar o nível de implementação da PE considerando as interações entre práticas e *bundles* ainda é algo pouco explorado e consolidado na literatura, o *Delphi* também é considerado a técnica mais adequada para este fim (SANTOS; VIDOTTO; GIUBLIN, 2005), pois ele é indicado para casos em que há escassez de dados históricos referentes a ele (WRIGHT; GIOVINAZZO, 2000).

Wright e Giovinazzo (2000) afirmam que o *Delphi* é composto pela estruturação da utilização de três atributos pertencentes ao grupo de especialistas: o conhecimento, a experiência e a criatividade. Além disso, os autores concordam que, quando adotado de maneira adequada, a opinião coletiva é mais confiável do que a opinião individual de um respondente.

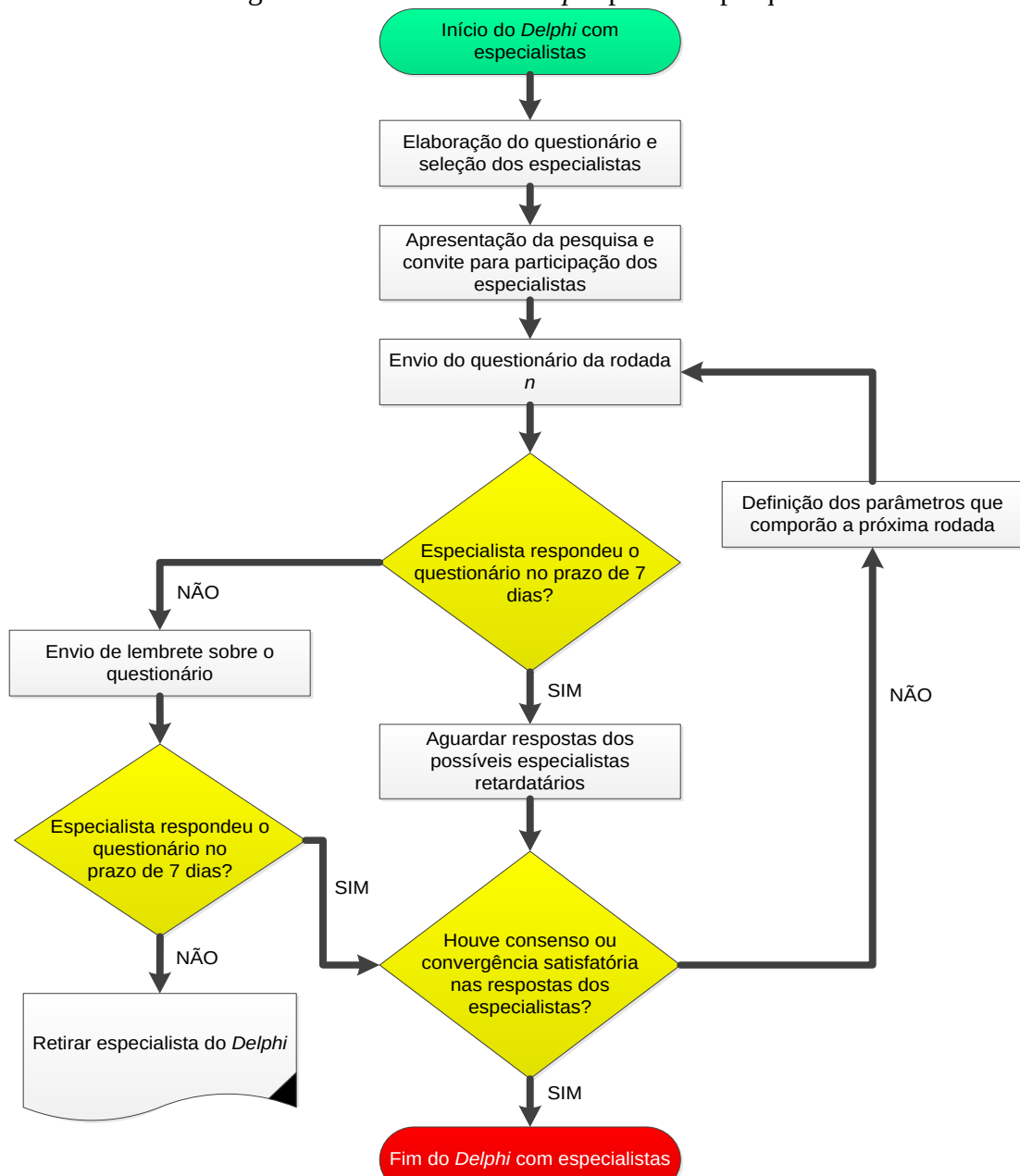
De acordo com a literatura (ROWE; WRIGHT; BOLGER, 1991; GUPTA; CLARKE, 1996; OKOLI; PAWLOWSKI, 2004), a técnica *Delphi* possui quatro características que a torna bem sucedida no alcance de seu objetivo:

- Anonimato entre os especialistas: facilita a mudança de opinião por parte dos especialistas e elimina a influência de especialistas mais experientes;
- Rodadas de interações: visando à busca pelo máximo de consenso;

- *Feedback* controlado: o pesquisador fornece apenas as informações pertinentes ao objetivo do estudo;
- Utilização de estatística simples: para constatar a presença ou não de consenso entre as respostas.

A estrutura do *Delphi* realizado nesta pesquisa e seu cronograma estão descritos na Figura 10.

Figura 10 – Estrutura do *Delphi* para esta pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seleção dos especialistas participantes do *Delphi* seguiu dois critérios: a) serem consultores profissionais na área de PE ou pesquisadores que concentram seus estudos sobre esse tema; b) possuir, no mínimo, 3 anos de experiência profissional ou acadêmica na área. Em todas as situações foi mantido o anonimato dos participantes.

O questionário utilizado para aplicação do *Delphi* com os especialistas está contido no Apêndice B. Sua construção seguiu a estrutura do GTA, dividindo-se os fatores e subfatores. Os valores das relações coletados dos especialistas foram utilizados tanto na execução do *fuzzy*-GTA quanto na execução do *fuzzy*-DEMATEL.

A cada rodada acrescentava-se uma informação diferente ao questionário, de modo que os especialistas compreendessem a evolução da pesquisa, caracterizando o aspecto do *feedback* controlado. Por exemplo, após os resultados da primeira rodada, enviou-se o questionário da segunda rodada para os participantes. Nele continha as seguintes informações sobre cada uma das 96 relações (questões): a resposta mais frequente e a resposta do especialista na primeira rodada, além dos argumentos qualitativos mais relevantes dos especialistas – sendo estes opcionais no estudo. Já a estrutura da terceira rodada apresentou as informações da segunda rodada acrescida da convergência das respostas de todos os especialistas.

Estas informações nortearam os especialistas em relação à convergência geral das respostas e à análise personalizada das respostas de cada especialista, permitindo-lhes avaliar a relevância dos argumentos de cada participante sobre determinadas relações, bem como a análise da disparidade entre suas respostas e a resposta da maioria. Entende-se por convergência a medida que mostra o caminho para o consenso mesmo que ele não seja atingido, isto é, o percentual da nota mais frequente em relação ao total de respostas.

Estabeleceu-se, para o *Delphi* nesta pesquisa, que as variáveis linguísticas ‘influência muito baixa’ e ‘influência baixa’ representariam respostas semelhantes, ou seja, variáveis consensuais. Do mesmo modo, considerou-se ‘influência alta’ e ‘influência muito alta’. As variáveis linguísticas ‘influência média’ e ‘sem influência’ permaneceram distintas e individuais. Assim, os percentuais de convergência teriam maior possibilidade de elevação.

3.2.3 Etapa 3: Atribuição de números *fuzzy* para respostas de analistas e especialistas

Um dos requisitos para a construção do modelo de avaliação foi a redução da imprecisão pela avaliação subjetiva dos respondentes. Considerando isto, constatou-se a necessidade de introduzir a lógica *fuzzy* no modelo, pois ela possui tal característica. Assim, a

partir das respostas dos avaliadores (os quais avaliaram o desempenho dos elementos) e dos especialistas (que avaliaram as relações entre os elementos), foram atribuídos números *fuzzy* para cada uma delas.

Desse modo, foram utilizados números *fuzzy* triangulares e suas operações matemáticas obedeceram às propriedades básicas mostradas na seção 2.4.1. O Quadro 14 apresenta os números *fuzzy* de acordo com a escala de desempenho.

Quadro 14 – Números *fuzzy* triangulares para as variáveis linguísticas de desempenho

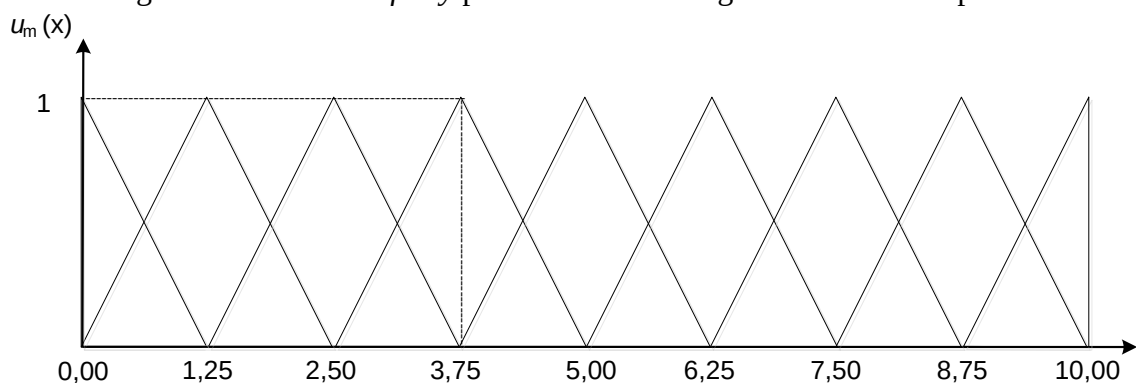
Variáveis linguísticas de desempenho	Abreviação	Números <i>fuzzy</i>
Não existente, mas necessário	NE	(0,00; 0,00; 0,00)
Extremamente baixo	EB	(0,00; 0,00; 1,25)
Muito baixo	MB	(0,00; 1,25; 2,50)
Baixo	B	(1,25; 2,50; 3,75)
Razoavelmente baixo	RB	(2,50; 3,75; 5,00)
Médio	M	(3,75; 5,00; 6,25)
Razoavelmente alto	RA	(5,00; 6,25; 7,50)
Alto	A	(6,25; 7,50; 8,75)
Muito alto	MA	(7,50; 8,75; 10,00)
Extremamente alto	EA	(8,75; 10,00; 10,00)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os números *fuzzy* triangulares são os mais usados devido à sua facilidade de especificação para o pesquisador (LIN; CHIU; TSENG, 2006). As escalas estabelecidas para esta pesquisa seguiram uma configuração de simetria e com mesmas amplitudes, de modo a estabelecer imparcialidade entre as variáveis linguísticas.

Os números *fuzzy* para o desempenho seguiram uma escala de 0 a 10. Eles foram utilizados na matriz do GTA para o cálculo do permanente. A Figura 11 mostra os números *fuzzy* adotados para o desempenho nesta pesquisa.

Figura 11 – Números *fuzzy* para as variáveis linguísticas de desempenho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Da mesma maneira foram atribuídos números *fuzzy* triangulares conforme a escala de relações entre os *bundles* e entre as práticas. Os números *fuzzy* são mostrados no Quadro 15 e seguiram as mesmas características dos números *fuzzy* estabelecidos para o desempenho.

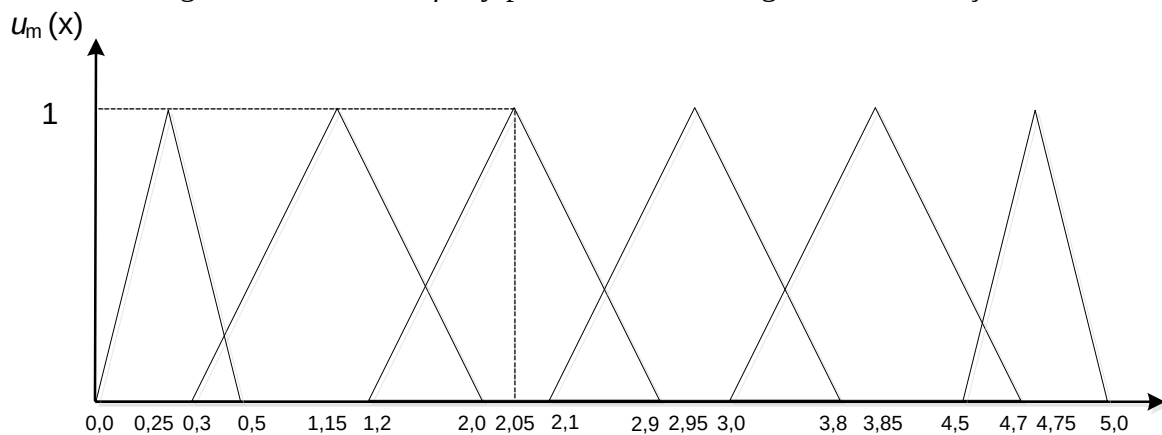
Quadro 15 – Números *fuzzy* triangulares para as variáveis linguísticas das relações

Variáveis linguísticas das relações	Abreviação	Números <i>fuzzy</i>
Sem influência	No	(0,00; 0,25; 0,50)
Influência muito baixa	IMB	(0,30; 1,15; 2,00)
Baixa influência	BI	(1,20; 2,05; 2,90)
Influência média	IM	(2,10; 2,95; 3,80)
Alta influência	AI	(3,00; 3,85; 4,70)
Influência muito alta	IMA	(4,50; 4,75; 5,00)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os números *fuzzy* para as relações seguiram uma escala de 0 a 5. Eles foram utilizados tanto na matriz do GTA, para o cálculo do permanente, quanto na matriz DEMATEL, para a classificação dos *bundles* e práticas quanto à importância e influência. A Figura 12 apresenta os números *fuzzy* adotados para as relações nesta pesquisa.

Figura 12 – Números *fuzzy* para as variáveis linguísticas de relações



Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante esclarecer que, ao serem estabelecidos os números *fuzzy* das respostas dos avaliadores e especialistas, fez-se necessário calcular as médias aritméticas para o desempenho e para as relações. O cálculo obedeceu à propriedade básica dos números *fuzzy* triangulares constante na equação (5) na seção 2.4.1. A utilização das médias aritméticas simples foi justificada, tanto para o desempenho quanto para as relações, em virtude das respostas dos avaliadores e especialistas apresentarem baixa disparidade entre elas.

Após a atribuição de números *fuzzy* para o desempenho e relações, o modelo seguiu para a próxima etapa, que se tratou das execuções do GTA e do DEMATEL.

3.2.4 Etapa 4: Execução das ferramentas GTA e DEMATEL

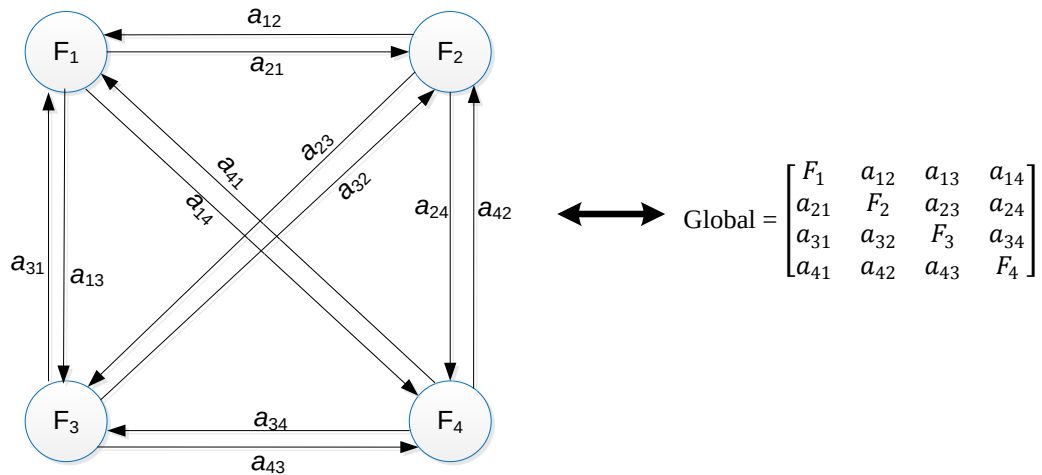
Esta etapa envolveu as execuções das ferramentas GTA e DEMATEL, que ocorreram concomitantemente.

3.2.4.1 Execução do GTA

De posse dos dados coletados acerca dos desempenhos das práticas enxutas e das relações existentes entre *bundles* e entre práticas, tornou-se viável o caminho para a construção dos grafos e matrizes do GTA, além de seu posterior cálculo do permanente de cada matriz. A sequência da execução do GTA está descrita na seção 2.4.4.

Primeiramente foram elaborados os grafos e a matriz de cada fator (*bundle*). Um exemplo disso está representado pela Figura 13, em que ilustra o exemplo de grafos e matriz globais envolvendo 4 fatores.

Figura 13 – Exemplo dos grafos e matriz dos fatores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os cálculos dos permanentes das respectivas matrizes foram realizados em conformidade com a Equação (4), a qual se trata de uma das propriedades básicas dos números *fuzzy*. Cada permanente calculado apresentou um valor expresso em números *fuzzy* na forma $Per(F1) = (l_1, m_1, u_1)$.

Após o cálculo do permanente (apresentado na Equação (6)) da matriz de cada fator, o resultado foi um conjunto de números *fuzzy* que, antes de passar pela fase de defuzzificação,

precisaram ser transformados em escala logarítmica para evitar um possível erro matemático durante a conversão dos números *fuzzy* em um valor único.

Para calcular o permanente, alguns *softwares* estão disponíveis. Dentre os disponíveis, esta pesquisa utilizou o Maxima na versão 5.31.2, devido à facilidade ao seu acesso e simplicidade de seu manuseio. O *download* pode ser feito gratuitamente pelo site <http://maxima.software.informer.com>. Por meio do *software* foi possível construir as matrizes e realizar o cálculo de seus permanentes.

3.2.4.2 Execução do DEMATEL

Este ponto visou à classificação das práticas enxutas (representados em subfatores) quanto a sua importância para os seus respectivos *bundles* (representados em fatores) e sua influência em relação às demais práticas relacionadas dentro do mesmo *bundle*. Trata-se de uma matriz de relações entre os subfatores, no formato da matriz abaixo.

$$F = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & 0 & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & 0 & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 0 & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & S_4 & 0 & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & 0 \end{bmatrix}$$

A sequência adotada para execução do DEMATEL obedeceu ao exposto na seção 2.4.5. O produto final desta etapa foi um quadro de resultados semelhante à Tabela 5.

Tabela 5 – Exemplo de números *fuzzy* dos resultados do DEMATEL

Fatores	ΣL	ΣC	$\Sigma L + \Sigma C$	$\Sigma L - \Sigma C$
F1	$(l_{L1}; m_{L1}; u_{L1})$	$(l_{C1}; m_{C1}; u_{C1})$	$(l_{L+C1}; m_{L+C1}; u_{L+C1})$	$(l_{L-C1}; m_{L-C1}; u_{L-C1})$
F2	$(l_{L2}; m_{L2}; u_{L2})$	$(l_{C2}; m_{C2}; u_{C2})$	$(l_{L+C2}; m_{L+C2}; u_{L+C2})$	$(l_{L-C2}; m_{L-C2}; u_{L-C2})$
F3	$(l_{L3}; m_{L3}; u_{L3})$	$(l_{C3}; m_{C3}; u_{C3})$	$(l_{L+C3}; m_{L+C3}; u_{L+C3})$	$(l_{L-C3}; m_{L-C3}; u_{L-C3})$
F4	$(l_{L4}; m_{L4}; u_{L4})$	$(l_{C4}; m_{C4}; u_{C4})$	$(l_{L+C4}; m_{L+C4}; u_{L+C4})$	$(l_{L-C4}; m_{L-C4}; u_{L-C4})$
Global	$(l_{LG}; m_{LG}; u_{LG})$	$(l_{CG}; m_{CG}; u_{CG})$	$(l_{L+CG}; m_{L+CG}; u_{L+CG})$	$(l_{L-CG}; m_{L-CG}; u_{L-CG})$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os cálculos da sequência do DEMATEL foram de simples execução e puderam ser realizadas com a utilização de planilhas eletrônicas comuns. Os cálculos matemáticos de $L + C$ e $L - C$ dos números *fuzzy* obedeceram às propriedades básicas constantes nas Equações (2) e (3), respectivamente. Conforme mencionado na seção 2.4.5, $L + C$ indica quais elementos

são mais importantes para o sistema, enquanto que o L – C classifica os elementos como básicos ou fim, de acordo com suas relações.

3.2.5 Etapa 5: Estabelecimento de valor único para os números *fuzzy* (defuzzificação)

A defuzzificação é a etapa em que um conjunto de números *fuzzy* assume um valor único. Conforme mencionado na seção 2.4.1, existem diversos métodos de defuzzificação disponíveis na literatura. Para escolher o método mais adequado, primeiramente percebeu-se que os números *fuzzy* triangulares estabelecidos pelo modelo são assimétricos, ou seja, $m - l \neq u - m$. Considerando isto, comparou-se as funções de pertinência $\mu(x)$ geradas por cada método. Foram analisados, no comparativo, o BNP, a distância Euclideana, o método do Centroide e o CFCS *phase*. Nestas condições, o CFCS apresentou os maiores valores de função de pertinência, sendo estes ficando próximos de 1 (valor máximo para $\mu(x)$). Visto que o $\mu(x)$ indica o grau de veracidade que o valor *fuzzy* x possui dentro do intervalo $[l, u]$, esta pesquisa adotou, então, o CFCS *phase* (*Converting the Fuzzy data into Crisp Scores*), desenvolvido por Opricovic e Tzeng (2003).

A sequência do CFCS *phase* é dada por 4 passos:

- Passo 1: Normalização dos valores de l , m e u :

$$xl_{ij}^n = (l_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{min}^{max} \quad (14)$$

$$xm_{ij}^n = (m_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{min}^{max} \quad (15)$$

$$xu_{ij}^n = (u_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{min}^{max} \quad (16)$$

Em que:

$$\Delta_{min}^{max} = \max u_{ij}^n - \min l_{ij}^n$$

n = número de avaliações

- Passo 2: Normalização dos valores de x_{sl} e x_{su} :

$$xsl_{ij}^n = xm_{ij}^n / (1 + xm_{ij}^n - xl_{ij}^n) \quad (17)$$

$$xsu_{ij}^n = xu_{ij}^n / (1 + xu_{ij}^n - xm_{ij}^n) \quad (18)$$

- Passo 3: Cálculo do valor único normalizado total:

$$x_{ij}^n = [xsl_{ij}^n (1 - xsl_{ij}^n) + xsu_{ij}^n xsu_{ij}^n] / [1 - xsl_{ij}^n + xsu_{ij}^n] \quad (19)$$

-Passo 4: Estabelecimento do valor único:

$$z_{ij}^n = \min l_{ij}^n + x_{ij}^n \Delta_{\min}^{max} \quad (20)$$

Esta sequência foi adotada para a defuzzificação dos resultados das etapas *fuzzy-GTA* e *fuzzy-DEMATEL*, possibilitando, assim, determinar o nível de implementação da PE e classificar as práticas enxutas quanto a sua importância para o fator em que está inserido e quanto a sua influência dentro dele.

3.2.6 Etapa 6: Determinação do nível de implementação da PE e classificação das práticas

Para classificar o nível de implementação da PE na empresa a ser estudada, necessitou-se determinar uma escala de classificação com intervalos definidos para os níveis de implementação. As variáveis linguísticas para os desempenhos dos subfatores elencados na etapa 1 poderiam variar de ‘não existente, mas necessário’ até ‘extremamente alto’, conforme visto na etapa 2.1.

Logo, por meio da execução do *fuzzy-GTA* para cada uma das possibilidades de variável linguística, estabeleceram-se as escalas de classificação para o nível de implementação, o qual pôde ser classificado em cinco formas distintas: implementação muito fraca, implementação fraca, implementação média, implementação forte e implementação muito forte. Assim, de acordo com a faixa das variáveis linguísticas de desempenho, foi atribuída uma das cinco classificações estabelecidas. O Quadro 16 relaciona as notas de desempenho com as classificações adotadas por esta pesquisa.

Quadro 16 - Classificação do nível de implementação da PE adotada nesta pesquisa

Faixas de Desempenho	Classificação do nível de implementação da PE de um Fator <i>F</i>
$NE \leq x < MB$	Implementação Muito Fraca
$MB \leq x < RB$	Implementação Fraca
$RB \leq x < RA$	Implementação Média
$RA \leq x < MA$	Implementação Forte
$MA \leq x \leq EA$	Implementação Muito Forte

Fonte: Elaborado pelo autor.

É imprescindível entender que, para o estabelecimento das escalas de classificação, foram alterados apenas os valores do desempenho de cada um dos subfatores e fatores. Logo,

os valores das relações entre eles permaneceram os mesmos, evitando, assim, um possível viés na análise do nível real de implementação da PE.

Outro ponto que necessita de explicação consiste da utilização da função logarítmica após os cálculos dos permanentes das situações real e teórica. Ela foi aplicada aos tais valores no intuito de facilitar a construção das escalas de classificação, visto que o logaritmo simplifica os números encontrados sem distorcer a avaliação.

Além disso, os resultados do *fuzzy-DEMATEL* possibilitaram a compreensão dos fatores mais importantes – no que tange as relações de influência – dentro do sistema e, de maneira semelhante, os subfatores mais importantes dentro de cada fator. Essa análise foi de suma importância para enxergar quais subfatores formam a base para a implantação ou melhoria do desempenho de outros subfatores.

3.2.7 Etapa 7: Priorização de melhorias

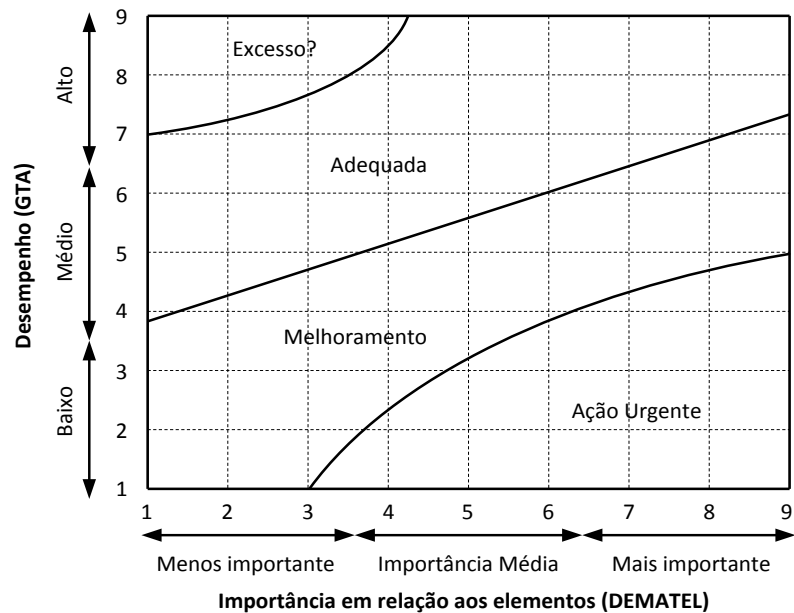
A última etapa consistiu em propor orientações para condução de futuras ações de melhorias nos fatores que, possivelmente, possam apresentar desempenho aquém do esperado.

Para que o modelo estabelecesse prioridades de melhoria, foram realizadas análises relacionando os critérios importância e desempenho dos elementos. A importância relativa de cada elemento foi extraída da etapa 5 no DEMATEL, especificamente da variável $L + C$ defuzzificada. Já a etapa 2, por meio da avaliação dos analistas da Empresa X, definiu os desempenhos dos elementos do modelo.

Existem na literatura alguns métodos para análise de importância-desempenho. Alguns deles são bastante utilizados em pesquisas sobre o tema. Os mais conhecidos são os de Martilla e James (1977), Lambert e Sharma (1990) e Slack (1994). Ao comparar os três, esta pesquisa optou pela análise importância-desempenho de Slack (1994), considerando o fato de a análise e o suporte à decisão não serem baseados em quadrantes, proporcionando uma transição gradativa entre as faixas de classificação na matriz.

A Figura 14 ilustra a matriz importância-desempenho de Slack (1994) adotada por esta pesquisa.

Figura 14 – Matriz importância-desempenho



Fonte: Adaptada de Slack (1994).

Para a utilização da matriz por esta pesquisa, foi necessária a adequação dos valores dos desempenhos dos elementos. As variáveis linguísticas foram transformadas em valores numéricos para serem inseridas na matriz. O Quadro 17 mostra como foi realizada a conversão.

Quadro 17 – Valores atribuídos às variáveis linguísticas de desempenho

Variáveis linguísticas de desempenho	Valor	Desempenho
Extremamente baixo (EB)	1	Baixo
Muito baixo (MB)	2	
Baixo (B)	3	
Razoavelmente baixo (RB)	4	Médio
Médio (M)	5	
Razoavelmente alto (RA)	6	
Alto (A)	7	Alto
Muito alto (MA)	8	
Extremamente alto (EA)	9	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi preciso ajustar os valores da importância relativa dos elementos. Neste caso, os valores de $L + C$ obtidos na etapa 5 foram separados por intervalos de mesma amplitude. O Quadro 18 apresenta a forma de definição das faixas.

Quadro 18 – Valores atribuídos às importâncias relativas

Faixas de importância relativa dos elementos			Valor	Importância relativa
$L + C \min_i$		A	1	Baixa
b		C	2	
d		E	3	
f		G	4	Média
h		I	5	
j		K	6	
l		m	7	Alta
n		o	8	
p		$L + C \max_i$	9	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, os valores de importância e desempenho foram plotados na matriz da Figura 14 e tornou-se possível a análise dos elementos que podem ser priorizados para o planejamento das ações de melhoria. Logo, esta etapa constituiu-se como fundamental para o modelo no tocante à orientação das ações de melhoria visando ao desenvolvimento do nível de implementação da Produção Enxuta no processo produtivo de uma empresa.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo objetivou a caracterizar a pesquisa e descrever o modelo referencial proposto por este estudo para avaliar o nível de implementação da Produção Enxuta. Ele foi desenvolvido com base no atendimento aos requisitos apresentados na seção 2.3.2, os quais foram estabelecidos para uma avaliação adequada e realista.

O modelo proposto foi composto das combinações *fuzzy-GTA* e *fuzzy-DEMATEL* além da utilização da matriz importância-desempenho de Slack. Todas elas se mostraram adequadas ao propósito dessa pesquisa. Cada etapa do modelo foi detalhada, de modo a tornar claro quais os métodos e técnicas utilizados para a coleta dos dados e execução do modelo desenvolvido.

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da aplicação do modelo desenvolvido na pesquisa, apresentando os resultados da coleta de dados das relações entre subfatores e entre fatores por meio do *Delphi* com os especialistas, dos desempenhos dos subfatores por meio das entrevistas com os avaliadores, bem como a execução das demais etapas do modelo.

Todas as práticas consideradas no modelo desenvolvido por esta pesquisa foram implantadas e estão sendo executadas em, no mínimo, uma etapa do processo produtivo da Empresa X. Sendo assim, a primeira etapa do modelo, que corresponde à seleção dos fatores e subfatores, permanece com a consideração dos mesmos elementos constantes no Quadro 11 da seção 3.2.1. Dessa forma, a execução do modelo é descrita a partir da segunda etapa.

4.1 ETAPA 2: SELEÇÃO E COLETA DE DADOS (EMPRESA E ESPECIALISTAS)

Conforme descrito no Capítulo 3, o modelo necessitou da coleta de duas variáveis: o desempenho dos subfatores e as relações entre os elementos do modelo. A seguir estão detalhados ambos separadamente.

4.1.1 Seleção da empresa e coleta dos desempenhos dos subfatores

O modelo de avaliação do nível de implementação da Produção Enxuta desenvolvido neste estudo foi aplicado em uma montadora do setor automotivo. A empresa foi selecionada devido ao fato de possuir práticas enxutas implantadas em seu processo produtivo. Sua identidade foi mantida em sigilo e ela foi chamada, nesta pesquisa, de Empresa X.

A Empresa X possui cerca de 8.000 colaboradores e é considerada uma fábrica moderna, dispondo de tecnologia de ponta ao longo do seu processo produtivo. A Figura 15 apresenta o fluxo do processo produtivo da Empresa X. Todas as etapas do processo foram consideradas na avaliação dos desempenhos de cada subfator.

Figura 15 – Fluxo do processo produtivo da Empresa X



Fonte: Elaborado pelo autor.

A empresa possui um programa de melhoria contínua que visa ao aprimoramento de seus processos por meio do avanço do nível de desempenho de suas práticas enxutas. Atualmente, a Empresa X possui capacidade para produzir até 250 mil veículos por ano.

Por meio das entrevistas com os avaliadores da Empresa X foram coletadas as variáveis linguísticas que classificam os desempenhos dos subfatores para serem inseridos no modelo. O Quadro 19 apresenta os dados sobre os entrevistados da Empresa X.

Quadro 19 – Dados dos entrevistados da Empresa X

Entrevistado	Cargo	Tempo na Empresa X
Avaliador 1 (A1)	Analista de Manufatura	4 anos
Avaliador 2 (A2)	Analista de Manufatura	3 anos
Avaliador 3 (A3)	Analista de Manufatura	3 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com as avaliações dos analistas, a Empresa X possui, em sua maioria, práticas enxutas com desempenhos considerados altos. Algumas delas tiveram avaliações bem conceituadas, como a Integração com fornecedores, o *Poka yoke*, o Comprometimento da liderança e alta gerência, o Nivelamento da produção (*Heijunka*), o *Layout celular*, a Manutenção Produtiva Total (TPM), a Automação (*Jidoka*) e o 5S.

Os fornecedores-chave da Empresa X estão localizados dentro do polo automotivo, fornecendo toda a sua produção exclusivamente a ela. A produção dos fornecedores-chave é realizada de acordo com a programação da Empresa X, com entregas em pequenos lotes e frequentemente ao longo do dia. As peças fornecidas vão diretamente para o processo produtivo da Empresa X, não passando por qualquer inspeção de recebimento.

Praticamente todas as máquinas das prensas, funilaria, pintura e montagem possuem dispositivos *poka yoke*, impedindo a ocorrência de peças defeituosas ou montagens com problemas. Estes dispositivos também impedem que componentes de determinado modelo sejam montados em um modelo diferente, alertando o operador no momento da leitura do código de barras dos componentes.

Todos os postos de trabalho no processo produtivo da Empresa X estão equipados com um botão de alerta. Assim, o operador possui a autonomia de acionar o botão e parar a linha de produção sempre que ele achar necessidade devido a um problema de qualidade ou segurança detectado por ele. Da mesma maneira as máquinas possuem os dispositivos *poka yoke*, conforme citado no parágrafo anterior.

É notório o envolvimento da alta gestão da Empresa X na resolução de problemas e não conformidades encontrados no processo produtivo, nos círculos *kaizen*, implantação de

ações para melhoria dos processos, dentre outros. De fato, a implementação de uma filosofia de produção como a Produção Enxuta, assim como qualquer programa, requer o comprometimento da liderança e alta gestão. Isso transparece para os demais níveis hierárquicos a importância de alcançar as metas traçadas para a organização.

A Empresa X realiza programações quinzenais de montagem, ajustando diariamente. Devido ao fato da linha de montagem operacionalizar em fluxo unitário, é possível para a Empresa X realizar o sequenciamento diário de produção e difundir a sequência com os fornecedores-chave localizados no polo. As programações quinzenais são transmitidas para os fornecedores fora do polo, tanto no Brasil quanto no exterior. Isso faz com que o processo produtivo seja bastante flexível para produzir todos os modelos de carros possíveis.

Os operadores recebem treinamentos frequentes sobre a manutenção básica das máquinas, como limpeza e troca de componentes básicos. Desse modo, a eficiência dos equipamentos é otimizada. Além disso, existe um planejamento e programação de manutenção preventiva das máquinas, mitigando a ocorrência de falhas não planejadas.

A cultura dos 5S está bem disseminada entre os colaboradores da Empresa X, visto a organização, limpeza e padronização ao longo de todo o seu processo produtivo. Todos os locais destinados aos *buffers* de componentes na borda de linha são demarcados, assim como há a programação diária de organização e limpeza dos postos de trabalho. Ademais, a equipe de melhoria contínua da empresa percorre o processo periodicamente em busca de levantar o máximo de componentes possíveis deixados no chão de fábrica. Os resultados deste levantamento são repassados imediatamente após para os gestores de cada processo, de modo a elaborar um plano de ação para eliminar a reincidência.

Apesar disso, duas práticas enxutas se destacaram pelo desempenho abaixo da média em relação às demais práticas. São elas os trabalhadores multifuncionais e o compartilhamento de informações.

Segundo informações de um dos entrevistados, o *job rotation* ocorre esporadicamente. O que ocorre de maneira mais intensa é o alargamento do trabalho, no qual um operador realiza um conjunto de tarefas específicas de montagem, enquanto que outros operadores realizam os seus conjuntos de tarefas, finalizando a atividade no *takt time* previsto. A baixa frequência de rotação de tarefas faz com que os trabalhadores não pratiquem o suficiente para se tornarem multifuncionais.

O compartilhamento de informações com os fornecedores é eficaz, sobretudo no que diz respeito ao programa de produção e seus ajustes. Porém, a comunicação entre os níveis hierárquicos possui limitações e dificuldades. As informações sobre os objetivos da empresa

para um determinado período e o alcance das metas não são claramente disseminadas com o nível operacional, bem como alguns indicadores de desempenho.

Com base no roteiro de entrevistas, os avaliadores atribuíram variáveis linguísticas para cada subfator (conforme o Quadro 12 da seção 3.2.2.1). Os valores atribuídos foram alocados na diagonal principal das matrizes dos fatores. O Quadro 20 apresenta as respostas dos avaliadores da Empresa X.

Quadro 20 – Respostas dos avaliadores quanto ao desempenho dos subfatores

Subfator		Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3
S ₁₁	Redução do tempo de <i>setup</i>	Razoavelmente alto (RA)	Alto (A)	Alto (A)
S ₁₂	Sistema <i>kanban</i>	Alto (A)	Razoavelmente alto (RA)	Razoavelmente alto (RA)
S ₁₃	Nivelamento da produção (<i>Heijunka</i>)	Muito alto (MA)	Muito alto (MA)	Alto (A)
S ₁₄	Integração com fornecedores	Extremamente alto (EA)	Extremamente alto (EA)	Extremamente alto (EA)
S ₂₁	Padronização das operações	Alto (A)	Razoavelmente alto (RA)	Muito alto (MA)
S ₂₂	Trabalhadores multifuncionais	Razoavelmente alto (RA)	Médio (M)	Baixo (B)
S ₂₃	Sincronização pelo <i>takt time</i>	Alto (A)	Alto (A)	Muito alto (MA)
S ₂₄	<i>Layout</i> celular	Muito alto (MA)	Alto (A)	Muito alto (MA)
S ₂₅	Manutenção Produtiva Total (TPM)	Muito alto (MA)	Muito alto (MA)	Alto (A)
S ₂₆	Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)	Alto (A)	Muito alto (MA)	Razoavelmente alto (RA)
S ₃₁	Controle Estatístico do Processo (CEP)	Alto (A)	Alto (A)	Alto (A)
S ₃₂	Uso de ferramentas da qualidade	Razoavelmente alto (RA)	Muito alto (MA)	Razoavelmente alto (RA)
S ₃₃	<i>Poka yoke</i>	Muito alto (MA)	Extremamente alto (EA)	Muito alto (MA)
S ₃₄	Autonomação (<i>Jidoka</i>)	Muito alto (MA)	Muito alto (MA)	Alto (A)
S ₃₅	5S	Muito alto (MA)	Alto (A)	Muito alto (MA)
S ₃₆	Gestão visual	Alto (A)	Alto (A)	Razoavelmente alto (RA)
S ₄₁	Compartilhamento de informações	Razoavelmente alto (RA)	Alto (A)	Razoavelmente baixo (RB)
S ₄₂	Comprometimento da liderança e alta gerência	Muito alto (MA)	Muito alto (MA)	Alto (A)
S ₄₃	Treinamentos <i>lean</i>	Médio (M)	Extremamente alto (EA)	Alto (A)
S ₄₄	Atividades de Pequenos Grupos (APGs)	Extremamente alto (EA)	Muito alto (MA)	Razoavelmente alto (RA)

Fonte: Elaborado pelo autor

É importante enfatizar que os resultados apresentados no Quadro 20 foram considerados para a elaboração do eixo ‘desempenho’ da matriz importância-desempenho na etapa 7.

Além da análise da execução dos subfatores no processo produtivo da Empresa X, fez-se necessário coletar os valores das relações entre os subfatores e entre os fatores do modelo. A subseção seguinte apresenta os resultados obtidos por meio do *Delphi*.

4.1.2 Seleção dos especialistas e coleta das relações entre os elementos

A coleta das variáveis linguísticas das relações entre subfatores e entre fatores do modelo se deu por meio da aplicação do *Delphi* com os especialistas. Esta variável corresponde à etapa 2.2 do modelo.

Conforme estabelecido na seção 3.2.2.2, a etapa 2.2 determinou os critérios para seleção dos participantes do *Delphi*. No total, o *Delphi* ocorreu durante 3 rodadas, iniciando com o convite para 50 especialistas, dos quais 12 responderam. A segunda rodada recebeu a resposta de 10 especialistas. Por fim, a terceira e última rodada contou com a participação de 7 especialistas. O consenso entre os participantes não foi alcançado em todas as relações, visto que foram 96 relações avaliadas pelos especialistas. Porém, a evolução do percentual de convergência foi notória a cada rodada, culminando em uma convergência geral satisfatória (87%).

Dos 12 especialistas que participaram do *Delphi* na primeira rodada, 7 responderam a todas as rodadas, obtendo-se, assim, uma taxa de 58% de participação geral. A Tabela 6 apresenta a taxa de retorno dos especialistas a cada rodada. Cabe ressaltar que apenas os respondentes da rodada anterior eram convidados a avaliar as relações da rodada subsequente.

Tabela 6 – Evolução da participação dos especialistas no *Delphi*

Rodadas	Participantes convidados	Participantes respondentes	Taxa de retorno (%)
1ª rodada	50	12	24%
2ª rodada	12	10	83%
3ª rodada	10	7	70%
GERAL	12	7	58%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 7 mostra um panorama geral sobre os especialistas e os percentuais individuais e gerais de convergência, em cada rodada, para as respostas mais frequentes de

cada uma das 96 relações do modelo. O Apêndice C mostra os detalhes dos resultados do *Delphi*, rodada a rodada.

Tabela 7 – Convergência individual dos participantes por rodada

Participante	Experiência em PE	Convergência 1 ^a rodada	Convergência 2 ^a rodada	Convergência 3 ^a rodada
Especialista 1	14 anos	43%	77%	78%
Especialista 2	14 anos	63%	88%	94%
Especialista 3	12 anos	60%	93%	97%
Especialista 4	18 anos	55%	68%	71%
Especialista 5	12 anos	53%	63%	70%
Especialista 6	20 anos	63%	93%	99%
Especialista 7	4 anos	48%	78%	95%
Especialista 8	8 anos	64%	Não participou	Não participou
Especialista 9	15 anos	52%	54%	Não participou
Especialista 10	15 anos	48%	Não participou	Não participou
Especialista 11	8 anos	56%	86%	Não participou
Especialista 12	7 anos	28%	38%	Não participou
CONVERGÊNCIA TOTAL		53%	74%	87%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final da terceira rodada o *Delphi* com especialistas foi encerrado. A convergência geral das relações apresentou um percentual final de 87%, o que significa que, apesar de não haver consenso entre os especialistas nas 96 relações, este resultado foi considerado satisfatório, visto que houve uma baixa disparidade entre as respostas dos participantes, bem como constatou-se, conforme os resultados acima apontam, a evolução da convergência geral da maioria dos elementos em relação à rodada anterior.

No questionário *online* enviado na primeira rodada, cada especialista atribuiu variáveis linguísticas, numa escala que variou entre ‘influência muito baixa’ e ‘influência muito alta’ (ou ‘sem influência’, caso o respondente entendesse que determinada relação não existia influência).

Na segunda rodada, cada especialista recebeu um panorama das respostas juntamente com alguns argumentos qualitativos de outros participantes. Neste segundo questionário, eles poderiam manter as suas avaliações da primeira rodada ou alterá-las de acordo com a reflexão sobre as notas do grupo.

Na terceira rodada, cada especialista recebeu um panorama dos resultados da segunda rodada, contendo a resposta mais frequente, o percentual de convergência e a sua nota na rodada anterior. Dessa forma, os especialistas só precisaram repensar as notas que não

estavam em acordo com a opinião da maioria, podendo manter ou alterar a nota de acordo com a sua avaliação.

É importante destacar também que a escassez de argumentos qualitativos dos participantes foi um fator que contribuiu para que o *Delphi* se encerrasse na terceira rodada, pois a ausência de argumentos enfraquece o *feedback* controlado para os especialistas, os quais, por sua vez, não dispõem de informações suficientes para refletir e comparar suas respostas às do grupo.

A título de exemplo, o Quadro 21 apresenta a avaliação do Especialista 1 (E1) sobre as relações entre os fatores do modelo.

Quadro 21 – Avaliação do E1 acerca das relações entre os fatores do modelo

EM \ INFLUENCIA	JIT	GP	TQM	FH
JIT	-	Influência alta (IA)	Influência alta (IA)	Influência média (IM)
GP	Influência muito alta (IMA)	-	Influência alta (IA)	Influência alta (IA)
TQM	Influência muito alta (IMA)	Influência média (IM)	-	Influência média (IM)
FH	Influência alta (IA)	Influência muito alta (IMA)	Influência muito alta (IMA)	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando o Quadro 21, é possível perceber que o E1 avaliou a influência do fator *Just-in-time* no fator Gestão de Processos como sendo alta. Ainda de acordo com ele, a recíproca é ainda mais intensa: GP exerce uma influência muito alta (IMA) sobre JIT.

Seguindo este raciocínio, o Apêndice D mostra todas as avaliações definitivas dos 7 especialistas participantes do *Delphi*. As variáveis linguísticas das relações foram alocadas nas células fora da diagonal principal das matrizes.

A coleta das variáveis do desempenho dos subfatores e das relações entre fatores e entre subfatores constituem a finalização da etapa 2 do modelo desenvolvido. Para a continuação da execução do modelo, as variáveis coletadas necessitam ser quantificadas, ou seja, convertidas em números *fuzzy*.

4.2 ETAPAS 3 E 4: ATRIBUIÇÃO DE NÚMEROS *FUZZY* PARA AS VARIÁVEIS COLETADAS E EXECUÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS

De posse dos resultados dos desempenhos dos subfatores e das relações entre fatores e entre subfatores, fez-se necessário quantificar as respectivas variáveis linguísticas para executar o *fuzzy-GTA* e o *fuzzy-DEMATEL*.

Esta seção converteu as respostas de cada avaliador da Empresa X e cada especialista participante do *Delphi* em números *fuzzy*, calculou suas respectivas médias aritméticas e executou o *fuzzy-GTA* e o *fuzzy-DEMATEL*. O Apêndice D apresenta as variáveis linguísticas de relação e o Apêndice E, especificamente a matriz de relação inicial, mostra os números *fuzzy* dessas relações. A próxima seção apresenta os números *fuzzy* das variáveis linguísticas dos desempenhos, já mostradas no Quadro 20 da seção 4.1.1.

4.2.1 Execução do GTA

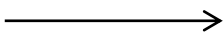
Os números *fuzzy* dos desempenhos dos subfatores (extraídos dos avaliadores da Empresa X) e das relações entre os elementos (retirados da aplicação do *Delphi* com os especialistas) precisaram ser tratados para a obtenção de uma única resposta para cada célula da matriz. Dessa maneira, em virtude das respostas dos avaliadores e dos especialistas apresentarem baixa disparidade entre elas, utilizou-se a média aritmética simples para o estabelecimento dos valores.

Assim, obedecendo às propriedades básicas dos números *fuzzy* triangulares, constantes nas equações (2) e (5) na seção 2.4.1, calculou-se as médias de todos os desempenhos dos subfatores.

As médias dos desempenhos dos subfatores compõem as diagonais principais de cada matriz *fuzzy-GTA* para o cálculo dos permanentes. As células que estão fora das diagonais principais de cada matriz são preenchidas com os números *fuzzy* das relações entre os subfatores e entre os fatores.

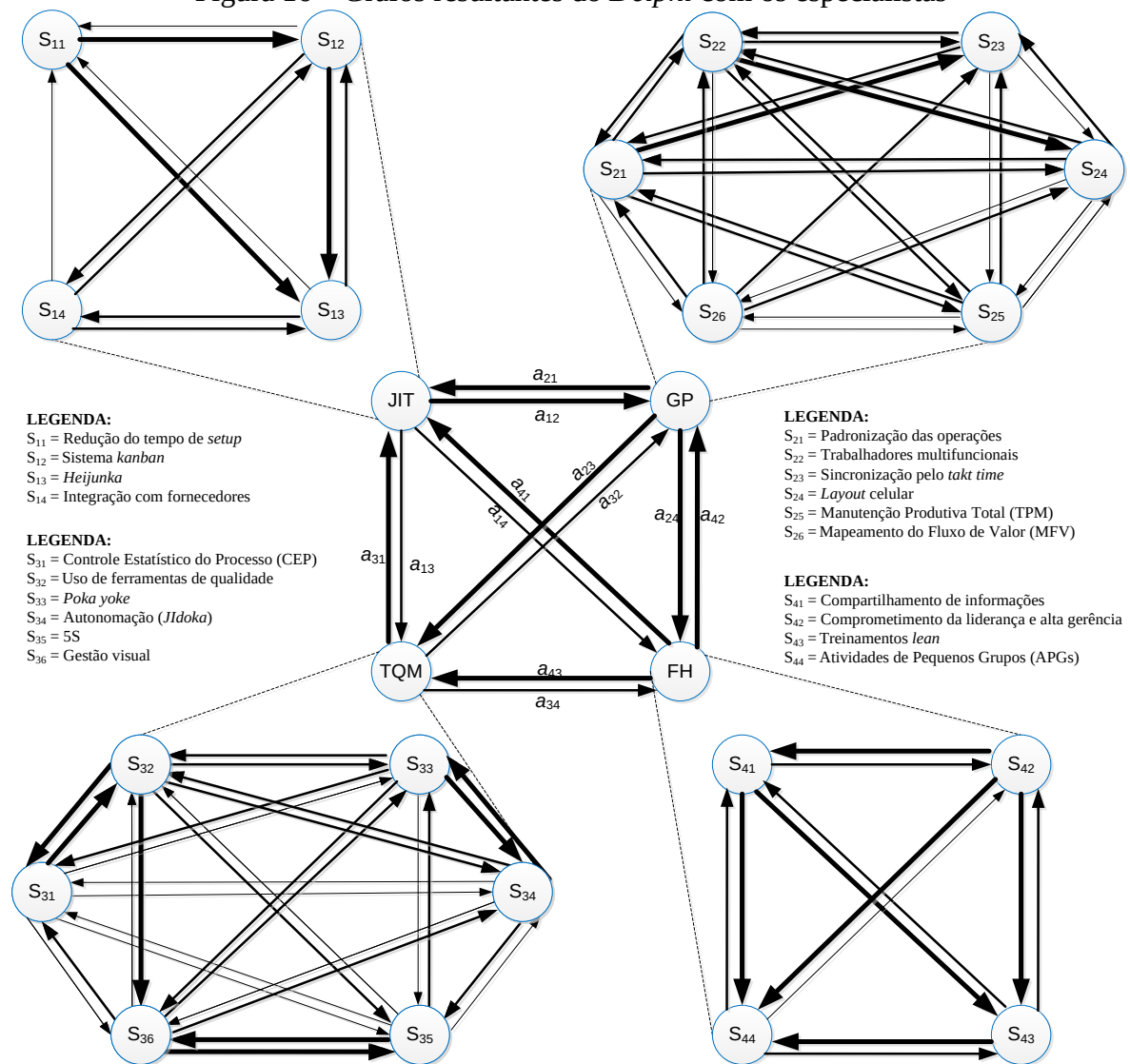
Após o cálculo das médias das relações, foram construídos os grafos correspondentes a cada fator. Para melhor mensuração das relações nos grafos (indicadas pelas setas, conforme apresentado na seção 2.4.4), as setas possuem espessuras distintas de acordo com a sua intensidade. O Quadro 22 mostra os padrões adotados.

Quadro 22 – Critérios para definição da intensidade das relações

Espessura da seta	Crítério variável linguística	Crítério números fuzzy
	$No < a_{ij} \leq IB$	$0,00; 0,25; 0,50 < a_{ij} \leq 1,20; 2,05; 2,90$
	$IB < a_{ij} < IA$	$1,20; 2,05; 2,90 < a_{ij} < 3,00; 3,85; 4,70$
	$IA \leq a_{ij} \leq IMA$	$3,00; 3,85; 4,70 \leq a_{ij} \leq 4,50; 4,75; 5,00$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse modo, o grafo total do modelo está expresso na Figura 16.

Figura 16 – Grafos resultantes do *Delphi* com os especialistas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da construção dos grafos, as matrizes abaixo apresentam os números *fuzzy* com base nas respostas dos avaliadores e especialistas.

$$\begin{aligned}
 JIT &= \begin{bmatrix} 5,83; 7,08; 8,33 & 3,51; 4,11; 4,70 & 3,51; 4,11; 4,70 & 0,00; 0,25; 0,50 \\ 0,94; 1,79; 2,64 & 5,42; 6,67; 7,92 & 3,64; 4,24; 4,83 & 1,93; 2,69; 3,46 \\ 1,07; 1,92; 2,77 & 3,09; 3,85; 4,61 & 7,08; 8,33; 9,58 & 2,74; 3,59; 4,44 \\ 0,64; 1,41; 2,17 & 2,96; 3,72; 4,57 & 2,87; 3,72; 4,57 & 8,75; 10,00; 10,00 \end{bmatrix} \\
 GP &= \begin{bmatrix} 6,25; 7,50; 8,75 & 3,15; 3,85; 4,55 & 3,38; 4,08; 4,78 & 2,48; 3,18; 3,88 & 2,78; 3,63; 4,48 & 0,75; 1,60; 2,45 \\ 2,33; 3,18; 4,03 & 3,33; 4,58; 5,83 & 3,15; 3,85; 4,55 & 3,75; 4,30; 4,85 & 2,10; 2,95; 3,80 & 0,98; 1,83; 2,68 \\ 2,70; 3,40; 4,10 & 1,88; 2,73; 3,58 & 6,67; 7,92; 9,17 & 1,35; 2,05; 2,75 & 0,75; 1,60; 2,45 & 0,00; 0,25; 0,50 \\ 1,88; 2,73; 3,58 & 3,00; 3,85; 4,70 & 2,78; 3,63; 4,48 & 7,08; 8,33; 9,58 & 0,75; 1,60; 2,45 & 0,30; 1,15; 2,00 \\ 1,88; 2,73; 3,58 & 1,65; 2,50; 3,35 & 1,80; 2,50; 3,20 & 1,50; 2,05; 2,60 & 7,08; 8,33; 9,58 & 0,53; 1,38; 2,23 \\ 3,15; 3,85; 4,55 & 2,10; 2,95; 3,80 & 2,70; 3,40; 4,10 & 3,08; 3,63; 4,18 & 1,20; 2,05; 2,90 & 6,25; 7,50; 8,75 \end{bmatrix} \\
 TQM &= \begin{bmatrix} 6,25; 7,50; 8,75 & 3,00; 3,85; 4,70 & 0,23; 0,93; 1,63 & 1,13; 1,83; 2,53 & 0,45; 1,15; 1,85 & 0,68; 1,38; 2,08 \\ 3,38; 4,08; 4,78 & 5,83; 7,08; 8,33 & 1,88; 2,73; 3,58 & 1,88; 2,73; 3,58 & 1,43; 2,28; 3,13 & 3,00; 3,85; 4,70 \\ 1,80; 2,50; 3,20 & 2,10; 2,95; 3,80 & 7,92; 9,17; 10,00 & 3,75; 4,30; 4,85 & 0,75; 1,60; 2,45 & 1,88; 2,73; 3,58 \\ 0,45; 1,15; 1,85 & 2,10; 2,95; 3,80 & 3,38; 4,08; 4,78 & 7,08; 8,33; 9,58 & 1,58; 2,28; 2,98 & 0,75; 1,60; 2,45 \\ 0,45; 1,15; 1,85 & 0,75; 1,60; 2,45 & 2,10; 2,95; 3,80 & 0,53; 1,38; 2,23 & 7,08; 8,33; 9,58 & 3,38; 4,08; 4,78 \\ 1,58; 2,28; 2,98 & 0,75; 1,60; 2,45 & 2,55; 3,40; 4,25 & 2,55; 3,40; 4,25 & 3,75; 4,30; 4,85 & 5,83; 7,08; 8,33 \end{bmatrix} \\
 FH &= \begin{bmatrix} 4,58; 5,83; 7,08 & 2,10; 2,95; 3,80 & 3,00; 3,85; 4,70 & 3,38; 4,08; 4,78 \\ 4,50; 4,75; 5,00 & 7,08; 8,33; 9,58 & 3,75; 4,30; 4,85 & 3,38; 4,08; 4,78 \\ 2,10; 2,95; 3,80 & 3,15; 3,85; 4,55 & 6,25; 7,50; 8,33 & 3,75; 4,30; 4,85 \\ 3,15; 3,85; 4,55 & 1,13; 1,83; 2,53 & 1,88; 2,73; 3,58 & 7,08; 8,33; 9,17 \end{bmatrix} \\
 GLOBAL &= \begin{bmatrix} \text{Per (JIT)} & 3,73; 4,24; 4,74 & 3,09; 3,85; 4,61 & 2,10; 2,95; 3,80 \\ 4,07; 4,49; 4,91 & \text{Per (GP)} & 3,64; 4,24; 4,83 & 3,21; 3,98; 4,74 \\ 3,51; 4,11; 4,70 & 2,23; 3,08; 3,93 & \text{Per (TQM)} & 2,10; 2,95; 3,80 \\ 3,86; 4,36; 4,87 & 4,29; 4,62; 4,96 & 4,29; 4,62; 4,96 & \text{Per (FH)} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Estabelecidas a matriz global e a matriz de cada fator do modelo, é possível realizar a execução da metodologia do GTA, calculando-se o permanente de cada matriz, conforme preconizado pela Equação (6) da seção 2.4.4. Os valores de cada permanente estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Números *fuzzy* dos permanentes

Fator	Permanente Per (F _i)
<i>Just-in-time</i> (JIT)	Per (JIT) = (4.073,65; 9.577,33; 17.839,96)
Gestão de Processos (GP)	Per (MP) = (303.929,66; 1.517.646,80; 5.393.284,92)
<i>Total Quality Management</i> (TQM)	Per (TQM) = (375.933,25; 1.684.691,47; 5.654.209,40)
Fatores Humanos (FH)	Per (FH) = (5.151,55; 11.634,49; 21.709,81)
Nível de implementação global	Per (GLOBAL) = (2,40 × 10 ¹⁸ ; 2,85 × 10 ²⁰ ; 1,18 × 10 ²²)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores dos permanentes são convertidos em uma escala logarítmica por uma questão de simplificação, pois o cálculo resulta em valores numéricos demasiadamente altos, dificultando a análise. Logo, os valores logarítmicos dos permanentes para a Empresa X aparecem na Tabela 9.

Tabela 9 – Números *fuzzy* logarítmicos dos permanentes dos fatores

Fator	Permanente logaritmizado
<i>Just-in-time</i> (JIT)	Per (JIT) = (3,61; 3,98; 4,25)
Gestão de Processos (GP)	Per (GP) = (5,48; 6,18; 6,73)
<i>Total Quality Management</i> (TQM)	Per (TQM) = (5,58; 6,23; 6,75)
Fatores Humanos (FH)	Per (FH) = (3,71; 4,07; 4,34)
Nível de Implementação Global	Per (GLOBAL) = (18,38; 20,45; 22,07)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para classificar o nível de implementação da PE em uma empresa, é necessário determinar uma escala de classificação com intervalos definidos.

As variáveis linguísticas para os desempenhos dos subfatores elencados na etapa 1 podem variar de ‘não existente, mas necessário’ até ‘extremamente alto’, conforme visto na etapa 2.1. É imprescindível entender que, para o estabelecimento das escalas de classificação, foram alterados apenas os valores do desempenho de cada um dos subfatores e fatores. Logo, os valores das relações entre eles permanecem os mesmos, evitando, assim, um possível viés na análise do nível real de implementação da PE. Seguindo o mesmo procedimento do caso real, a Tabela 10 apresenta os valores *fuzzy* logaritmizados das escalas de classificação.

Tabela 10 – Números *fuzzy* logarítmicos das escalas de classificação

Escalas de Classificação	JIT	GP	TQM	FH	Global
NE	2,12; 2,72; 3,14	3,79; 4,88; 5,59	3,97; 4,87; 5,55	2,79; 3,17; 3,48	12,66; 15,64; 17,76
EB	2,12; 2,72; 3,30	3,79; 4,88; 5,75	3,97; 4,87; 5,72	2,79; 3,17; 3,60	12,66; 15,64; 18,37
MB	2,12; 2,93; 3,46	3,79; 5,11; 5,92	3,97; 5,09; 5,88	2,79; 3,32; 3,73	12,66; 16,44; 18,99
B	2,45; 3,15; 3,62	4,27; 5,30; 6,05	4,18; 5,33; 6,09	2,97; 3,47; 3,85	13,87; 17,25; 19,61
RB	2,76; 3,35; 3,78	4,54; 5,55; 6,25	4,58; 5,52; 6,21	3,15; 3,62; 3,98	15,03; 18,04; 20,23
M	3,03; 3,55; 3,93	4,88; 5,77; 6,42	4,88; 5,73; 6,38	3,34; 3,77; 4,11	16,14; 18,82; 20,84
RA	3,29; 3,74; 4,08	5,20; 5,98; 6,58	5,19; 5,95; 6,54	3,53; 3,92; 4,23	17,21; 19,59; 21,44
A	3,53; 3,92; 4,23	5,50; 6,19; 6,74	5,49; 6,16; 6,71	3,72; 4,07; 4,36	18,24; 20,34; 22,04
MA	3,76; 4,09; 4,37	5,79; 6,40; 6,90	5,77; 6,37; 6,87	3,90; 4,22; 4,48	19,22; 21,07; 22,63
EA	3,96; 4,26; 4,37	6,06; 6,60; 6,90	6,05; 6,57; 6,87	4,07; 4,36; 4,48	20,14; 21,79; 22,63
REAL	3,61; 3,98; 4,25	5,48; 6,18; 6,73	5,58; 6,23; 6,75	3,71; 4,07; 4,34	18,38; 20,45; 22,07

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, foram calculados os números *fuzzy* logaritmizados para o caso real e as escalas de classificação do modelo. Porém, para determinar o nível de implementação da PE

na Empresa X, é necessário defuzzificar os valores encontrados. Esta ação é realizada na etapa 5.

4.2.2 Execução do DEMATEL

A seção 4.1.2 apresentou os resultados do *Delphi* com especialistas para a avaliação das relações entre os subfatores e entre os fatores do modelo. Ao final, 7 especialistas participaram de todas as 3 rodadas.

Realizou-se a média aritmética simples para calcular os valores das relações pelos mesmos motivos apresentados para os desempenhos dos subfatores. O cálculo das relações entre fatores e entre subfatores também foi executado conforme as Equações (2) e (5).

Quantificados os valores das relações entre os elementos, é possível realizar a execução da metodologia do DEMATEL. Seguindo os passos das Equações (8), (9), (10), (11) e (12), os resultados são alcançados.

As Tabelas 11, 12 e 13 apresentam a sequência do DEMATEL para a matriz Global. Os cálculos de todos os fatores do modelo estão destacados no Apêndice E.

Tabela 11 – Matriz de relação direta inicial GLOBAL

GLOBAL	JIT	GP	TQM	FH
JIT	0,00; 0,00; 0,00	3,73; 4,24; 4,74	3,09; 3,85; 4,61	2,10; 2,95; 3,80
GP	4,07; 4,49; 4,91	0,00; 0,00; 0,00	3,64; 4,24; 4,83	3,21; 3,98; 4,74
TQM	3,51; 4,11; 4,70	2,23; 3,08; 3,93	0,00; 0,00; 0,00	2,10; 2,95; 3,80
FH	3,86; 4,36; 4,87	4,29; 4,62; 4,96	4,29; 4,62; 4,96	0,00; 0,00; 0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12 – Matriz de relação direta inicial normalizada GLOBAL

GLOBAL	JIT	GP	TQM	FH
JIT	0,00; 0,00; 0,00	0,25; 0,29; 0,32	0,21; 0,26; 0,31	0,14; 0,20; 0,26
GP	0,28; 0,30; 0,33	0,00; 0,00; 0,00	0,25; 0,29; 0,33	0,22; 0,27; 0,32
TQM	0,24; 0,28; 0,32	0,15; 0,21; 0,37	0,00; 0,00; 0,00	0,14; 0,20; 0,26
FH	0,26; 0,30; 0,33	0,29; 0,31; 0,34	0,29; 0,31; 0,34	0,00; 0,00; 0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 – Matriz de relação total T GLOBAL

GLOBAL	JIT	GP	TQM	FH
JIT	0,38; 0,84; 2,94	0,54; 1,01; 3,04	0,53; 1,03; 3,16	0,39; 0,84; 2,80
GP	0,66; 1,18; 3,42	0,40; 0,88; 3,02	0,63; 1,15; 3,40	0,49; 0,97; 3,04
TQM	0,53; 1,00; 3,05	0,44; 0,90; 2,89	0,32; 0,77; 2,80	0,36; 0,80; 2,69
FH	0,70; 1,22; 3,47	0,67; 1,17; 3,32	0,70; 1,22; 3,45	0,35; 0,80; 2,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para calcular e analisar adequadamente o $L + C$ e $L - C$ é necessário, assim como no GTA, primeiramente defuzzificar as matrizes totais T de cada fator do modelo. A partir daí, então, estes valores são calculados. O $L + C$ e o $L - C$ representam, respectivamente, a importância das práticas para o fator e a classificação das práticas quanto às suas influências. Eles constituem o resultado final do DEMATEL. A defuzzificação dos resultados foi realizada na próxima seção.

4.3 ETAPAS 5 E 6: DEFUZZIFICAÇÃO DOS RESULTADOS E CLASSIFICAÇÃO

A defuzzificação dos valores encontrados no *fuzzy*-GTA e *fuzzy*-DEMATEL constitui um passo importante para analisar os resultados obtidos com a execução do modelo. Portanto, após defuzzificar os valores extraídos dos dois modelos matemáticos (etapa 5), a sexta etapa do modelo apresenta o nível de implementação da PE na Empresa X conforme o GTA e classifica os elementos do modelo conforme o DEMATEL.

4.3.1 Determinação do nível de implementação da PE

Seguindo os 4 passos do CFCS *phase* descritos na seção 3.2.5 utilizando as Equações (14) a (20), realizou-se a defuzzificação dos números *fuzzy* logaritmizados de cada fator, encontrados no *fuzzy*-GTA. Abaixo estão descritas as etapas do CFCS *phase* para encontrar o valor único (defuzzificado) para o fator ‘Global’ da Empresa X, iniciando-se pelos valores da Tabela 14. O Apêndice F apresenta todos os valores defuzzificados e funções de pertinência $\mu(x)$ em detalhes.

Tabela 14 – Números *fuzzy* para o caso real e escalas de classificação do fator GLOBAL

Escalas de Classificação	l	m	u	Valor defuzzificado	$\mu(x)$
REAL	18,38	20,46	22,07	20,26	0,906
NE	12,66	15,64	17,76	15,63	0,997
EB	12,66	15,64	18,37	15,76	0,955
MB	12,66	16,44	18,99	16,35	0,975
B	13,87	17,24	19,61	17,10	0,957
RB	15,03	18,04	20,23	17,86	0,941
M	16,14	18,82	20,84	18,62	0,928
RA	17,21	19,58	21,44	19,39	0,918
A	18,24	20,34	22,04	20,15	0,911
MA	19,22	21,07	22,63	20,90	0,907
EA	20,14	21,79	22,63	21,60	0,884

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Passo 1: Normalização dos valores de l , m e u do fator ‘Global’:**

$$X_l^{\text{GLOBAL}} = 0,574$$

$$X_m^{\text{GLOBAL}} = 0,782$$

$$X_u^{\text{GLOBAL}} = 0,944$$

- **Passo 2: Normalização dos valores de x_{sl} e x_{su} do fator ‘Global’:**

$$X_{sl}^{\text{GLOBAL}} = 0,647$$

$$X_m^{\text{GLOBAL}} = 0,812$$

- **Passo 3: Cálculo do valor único normalizado total do fator ‘Global’:**

$$X^{\text{GLOBAL}} = 0,762$$

- **Passo 4: Estabelecimento do valor único do fator ‘Global’:**

$$Z^{\text{GLOBAL}} = 20,26$$

Da mesma forma realizou-se a defuzzificação para as escalas de classificação para o nível de implementação da PE. Assim, a Tabela 15 apresenta os valores defuzzificados do *fuzzy*-GTA.

Tabela 15 – Valores defuzzificados dos fatores

Escalas de Classificação	JIT	GP	TQM	FH	Global
NE	3,18	2,72	4,88	4,85	15,63
EB	3,21	2,75	4,91	4,88	15,76
MB	3,32	2,91	5,07	5,05	16,35
B	3,46	3,11	5,26	5,26	17,10
RB	3,60	3,31	5,47	5,48	17,86
M	3,74	3,51	5,68	5,70	18,62
RA	3,89	3,70	5,89	5,91	19,39
A	4,04	3,88	6,10	6,13	20,15
MA	4,19	4,06	6,31	6,34	20,90
EA	4,32	4,22	6,51	6,54	21,60
REAL	4,03	3,95	6,17	6,12	20,26

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, utilizando as escalas de classificação como parâmetro, o modelo proposto classifica o nível de implementação da PE em cinco formas distintas: implementação muito fraca, implementação fraca, implementação média, implementação forte e implementação muito forte. O Quadro 23 mostra as faixas de desempenho e as classificações adotadas.

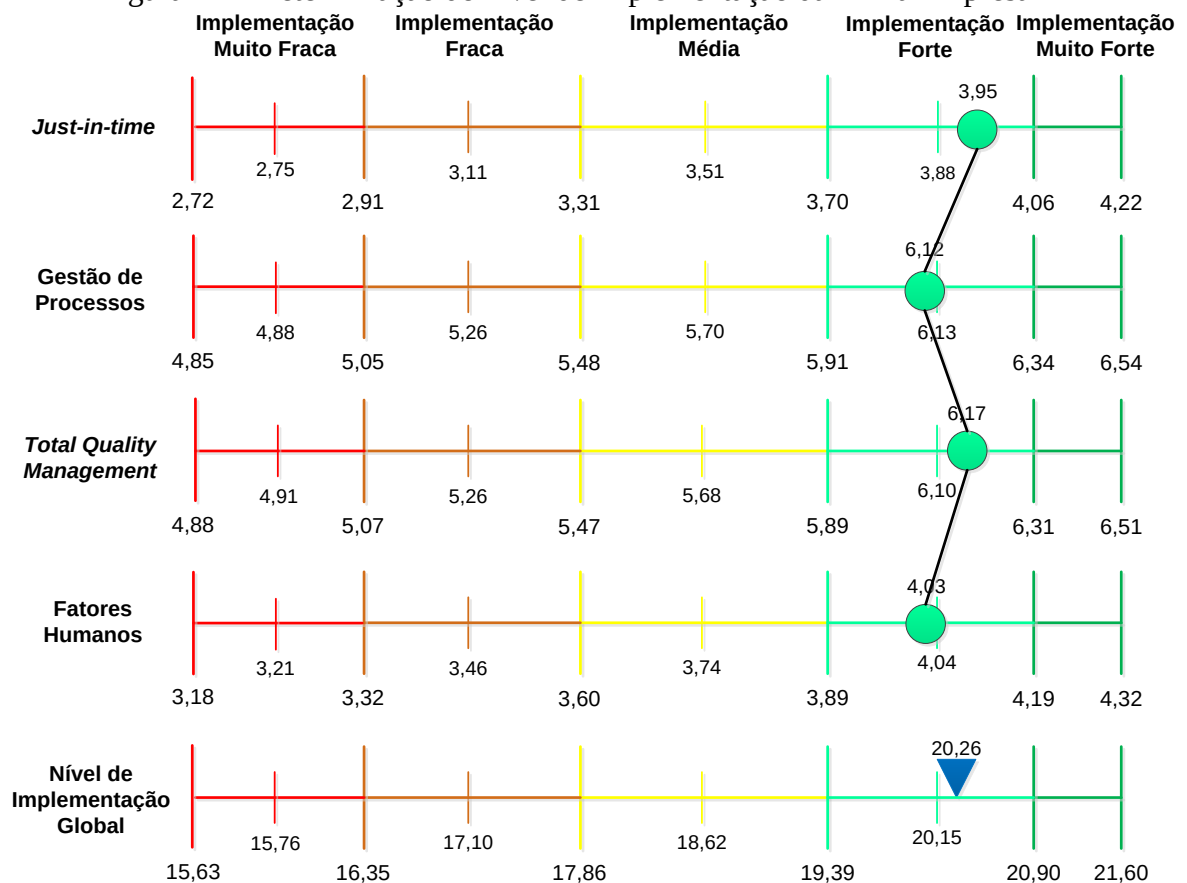
Quadro 23 – Classificação do nível de implementação da PE adotada nesta pesquisa

Faixas de Desempenho	Classificação do nível de implementação do LM de um Fator <i>F</i>
$NE \leq x < MB$	Implementação Muito Fraca
$MB \leq x < RB$	Implementação Fraca
$RB \leq x < RA$	Implementação Média
$RA \leq x < MA$	Implementação Forte
$MA \leq x \leq EA$	Implementação Muito Forte

Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse dos valores da Tabela 15, os quais consideram os permanentes defuzzificados dos fatores, e considerando as faixas descritas no Quadro 21, é possível construir as escalas e, conseqüentemente, determinar o nível de implementação da PE na Empresa X. A Figura 17 apresenta a escala, indicando ‘em que’ nível de implementação a Empresa X se encontra.

Figura 17 – Determinação do nível de implementação da PE na Empresa X



Assim, de acordo com a Figura 17, é possível avaliar que a Empresa X possui um nível de implementação forte da Produção Enxuta. O resultado global é refletido pelo nível de

implementação de todos os fatores avaliados (*Just-in-time* (JIT), Gestão de Processos (GP), *Total Quality Management* (TQM) e Fatores Humanos (FH)), os quais apresentaram-se fortes.

O fator JIT apresentou o maior desempenho médio entre os fatores. Os maiores contribuintes neste aspecto foram as práticas Integração com fornecedores e Nivelamento da produção (*Heijunka*), os quais obtiveram dois dos quatro melhores desempenhos entre todas as práticas enxutas avaliadas. Além disso, a integração entre seus subfatores foram menores em relação aos de FH e semelhantes aos de GP.

O TQM também obteve o maior nível de implementação da PE entre os fatores em virtude dos bons desempenhos do *Poka yoke*, Automação (*Jidoka*) e 5S, bem como da relativa baixa intensidade entre seus subfatores, sendo considerado como o fator menos integrado. Quanto menos integrado, mais independente os subfatores se tornam, evidenciando o aspecto desempenho individual como preponderante para alcançar níveis de implementação mais elevados.

O fator GP obteve a menor média de desempenho, grande parte por responsabilidade do subfator ‘Trabalhadores multifuncionais’, o qual foi a prática com pior desempenho dentre todas as avaliadas. E mesmo apresentando integração entre suas práticas semelhantes aos de JIT, o fator GP apresentou um nível de implementação relativamente inferior a TQM e JIT.

Dentre todos os fatores, FH foi considerado o mais complexo no que diz respeito à integração entre as práticas, visto que as relações entre elas são as mais intensas do sistema. Arelado a isso está o fato de FH apresentar desempenho médio de seus subfatores menor que o de JIT e TQM, já que o Compartilhamento de informações não possui um bom desempenho na Empresa X (obteve o segundo menor desempenho dentre todos os subfatores do modelo).

Todavia, de maneira global constata-se que a Empresa X possui um forte nível de implementação dos quatro fatores. Isso indica que o seu processo produtivo adota os conceitos da Produção Enxuta de forma significativa. Além disso, a integração entre os fatores é considerada bastante alta, tornando o sistema altamente complexo, ressaltando a implementação bem-sucedida da PE na Empresa X.

4.3.2 Classificação dos elementos do modelo quanto à importância e à influência

Simultaneamente à determinação do nível de implementação da PE na Empresa X, os valores encontrados no DEMATEL foram defuzzificados e analisados visando a compreender os efeitos das relações entre os elementos do sistema.

De modo a descrever os passos para defuzzificação da matriz total T dos fatores, inicialmente, fez-se um recorte da Tabela 13, mostrando apenas os números *fuzzy* da sua primeira coluna. A Tabela 16 mostra os valores *fuzzy*, o valor defuzzificado e a função de pertinência da defuzzificação.

Tabela 16 – Valores defuzzificados da matriz total T do fator GLOBAL

GLOBAL	JIT				
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	Valor defuzzificado	$\mu(x)$
JIT	0,38	0,84	2,94	1,19	0,835
GP	0,66	1,18	3,42	1,52	0,848
TQM	0,53	1,00	3,05	1,33	0,839
FH	0,70	1,22	3,47	1,56	0,850

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tomando como exemplo a relação ‘JIT-JIT’ da Tabela 16 (primeira linha), pode-se descrever os passos do CFCS *phase* para defuzzificação.

- Passo 1: Normalização dos valores de *l*, *m* e *u* da relação ‘JIT-JIT’:

$$X_l^{\text{GLOBAL}} = 0,000$$

$$X_m^{\text{GLOBAL}} = 0,150$$

$$X_u^{\text{GLOBAL}} = 0,829$$

- Passo 2: Normalização dos valores de x_{sl} e x_{su} da relação ‘JIT-JIT’:

$$X_{sl}^{\text{GLOBAL}} = 0,131$$

$$X_m^{\text{GLOBAL}} = 0,494$$

- Passo 3: Cálculo do valor único normalizado total da relação ‘JIT-JIT’:

$$X^{\text{GLOBAL}} = 0,262$$

-Passo 4: Estabelecimento do valor único da relação ‘JIT-JIT’:

$$Z^{\text{GLOBAL}} = 1,19$$

Seguindo os passos acima, o Apêndice G apresenta todos os valores defuzzificados e funções de pertinência $\mu(x)$ de cada elemento da matriz total T.

Após defuzzificar todas as matrizes T do DEMATEL foi possível somar as Equações (11) e (12) da seção 2.4.5 e encontrar os valores de $L + C$ e $L - C$ de todos os fatores do modelo. A Tabela 17 apresenta os resultados do fator GLOBAL.

Tabela 17 – Valores defuzzificados de $L + C$ e $L - C$ do fator GLOBAL

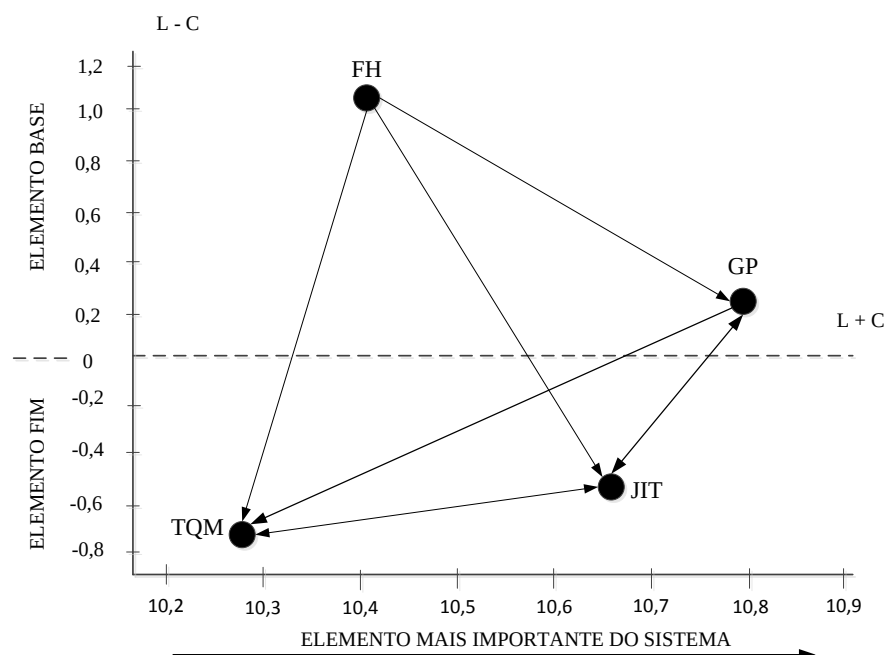
GLOBAL	$\sum L + \sum C$	$\sum L - \sum C$
JIT	10,64	-0,56
GP	10,79	0,24
TQM	10,27	-0,75
FH	10,40	1,06
Média da matriz total T defuzzificada		1,32

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores da matriz total T apresentados no Apêndice G que estão destacados em verde indicam que eles são maiores que a média da matriz T, por isso são consideradas relações que devem ser levadas em conta para analisar o fator. Além disso, os elementos com maior valor $L + C$ são considerados como mais importantes em termos de influência do sistema.

A Figura 18 apresenta as relações entre os fatores do sistema. A trajetória unidirecional de suas setas indica que elas partem do fator que influencia e alcançam aquele que é influenciado. Já as setas bidirecionais mostram que os fatores influenciam-se mutuamente.

Figura 18 – Matriz $L + C$, $L - C$ do fator GLOBAL



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Figura 18, o fator mais importante para o modelo sob o ponto de vista das relações é o GP, exercendo o maior valor de $L + C$. Além disso, ele é considerado um elemento base, influenciando nos fatores JIT e TQM, ressaltando sua importância para o sistema. Este resultado aponta a ideia de que um processo bem gerenciado propicia a implantação do JIT e do TQM em seus processos.

FH, por sua vez, é o outro elemento base do sistema, exercendo influência em todos os demais fatores do modelo. De fato, o aspecto social é um fator preponderante para a ascensão de qualquer desempenho de aspecto técnico, visto que todo sistema produtivo necessita da motivação e competência humana para que opere de forma eficiente. Além disso, o FH não é influenciado por nenhum outro fator do modelo.

O TQM e o JIT são os elementos fim do sistema, visto que sofrem influência de todos os fatores do modelo. O TQM, por exemplo, não exerce influência sobre nenhum fator do sistema.

Os valores da Tabela 18 foram utilizados para construir a Figura 19, a qual mostra as relações entre os subfatores do fator JIT.

Tabela 18 – Valores defuzzificados de $L + C$ e $L - C$ do fator JIT

JIT	$\sum L + \sum C$	$\sum L - \sum C$
S ₁₁	8,11	1,27
S ₁₂	10,88	-1,04
S ₁₃	11,26	-0,92
S ₁₄	9,29	0,69
Média da matriz total T defuzzificada		1,24

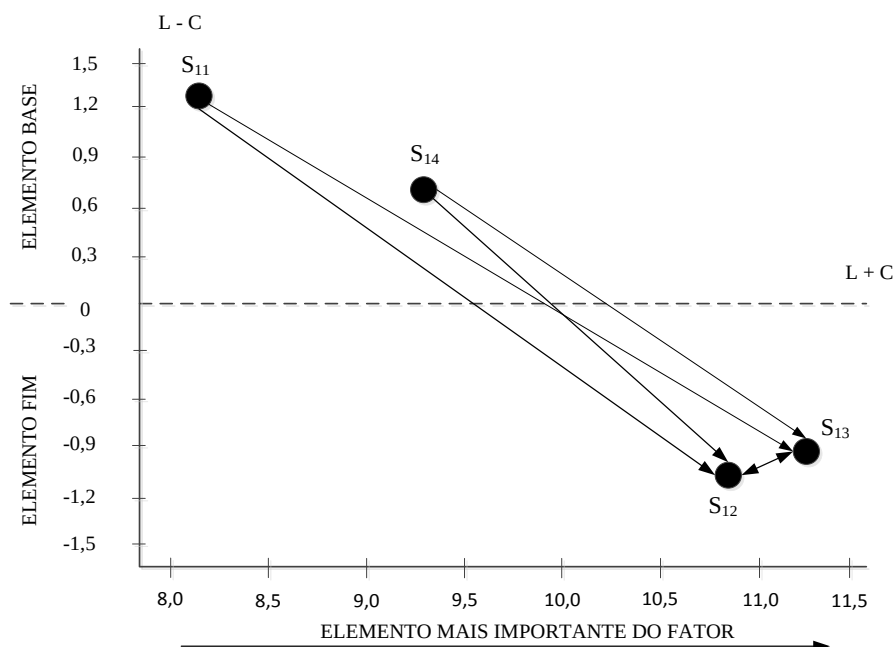
Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Figura 19, o Nivelamento da produção (*Heijunka*) (S₁₃) é a prática mais importante do fator e também considerada um elemento fim, já que ele sofre influência de todos os subfatores do JIT. Isso mostra a alta integração e complexidade do fator, pois para desenvolver o subfator mais importante do JIT é necessário alavancar todos os demais subfatores. O Sistema *kanban* (S₁₂) também é influenciado por todos os subfatores do JIT.

A Redução do tempo de *setup* (S₁₁) e a Integração com fornecedores (S₁₄) são os elementos base do JIT, influenciando S₁₂ e S₁₃, porém não há relação entre S₁₁ e S₁₄. Tais resultados evidenciam o seguinte: máquinas com tempos curtos de *setup* proporcionam alta flexibilidade ao processo, possibilitando-lhe produzir pequenos lotes de peças, o que auxilia a adoção do *Heijunka*; também dá confiabilidade ao processo para garantir a produção de peças apenas quando a estação a jusante necessitar e acioná-lo. De forma semelhante, a entrega

frequente e pontual dos produtos e sua garantia da qualidade por parte dos fornecedores promovem o bom desempenho de S_{12} e S_{13} .

Figura 19 – Matriz $L + C$, $L - C$ do fator *Just-in-time*



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 19 apresenta os valores defuzzificados de $L + C$ e $L - C$ das práticas enxutas pertencentes ao fator Gestão de Processos, o mais importante do sistema sob a perspectiva das relações.

Tabela 19 – Valores defuzzificados de $L + C$ e $L - C$ do fator GP

GP	$\sum L + \sum C$	$\sum L - \sum C$
S_{21}	6,18	0,01
S_{22}	6,22	-0,07
S_{23}	5,53	-1,19
S_{24}	5,60	-0,28
S_{25}	4,85	-0,13
S_{26}	4,53	1,65
Média da matriz total T defuzzificada		0,46

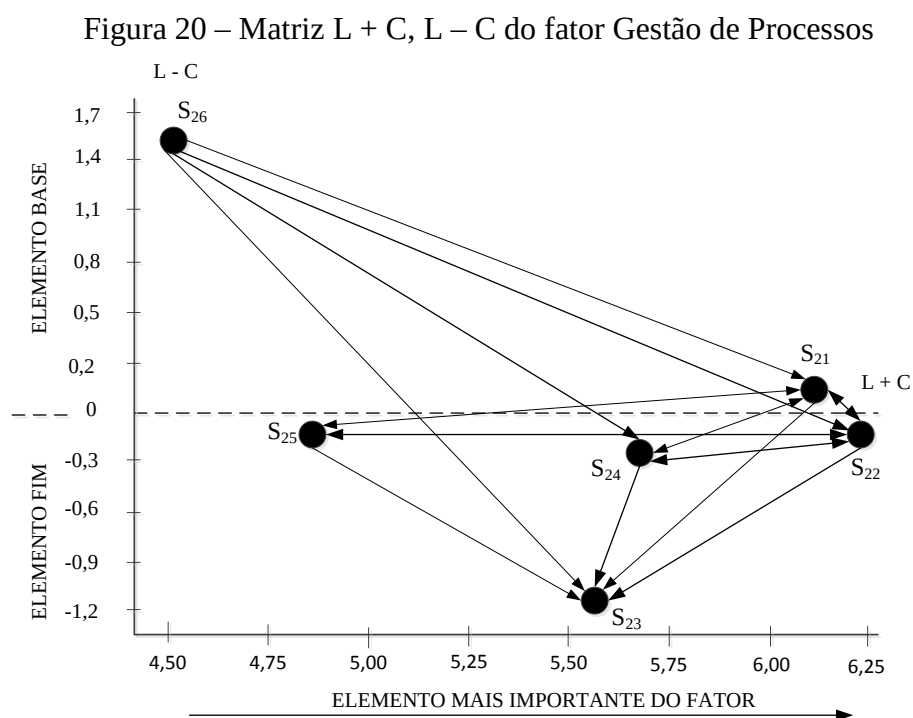
Fonte: Elaborado pelo autor.

Padronização das operações (S_{21}), Trabalhadores multifuncionais (S_{22}) e Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) (S_{26}) são os subfatores que mais influenciam outros subfatores do GP. S_{21} e S_{22} são os mais importantes do GP, pois eles influenciam e são influenciados por quase todos os subfatores de GP. Esta é uma característica deste fator, evidenciando sua alta complexidade no que diz respeito às relações entre os subfatores. Da mesma forma o *Layout*

celular (S_{24}) e a Manutenção Produtiva Total (TPM) (S_{25}) possuem, em sua maioria, relações recíprocas, isto é, influenciam e são influenciados pelos subfatores. Isso é comprovado na Figura 20 estando próximos do 0 no eixo L – C.

O MFV (S_{26}) é o subfator mais influenciador do GP, sendo considerado um elemento base. De fato, com a implantação e bom desempenho do MFV no processo produtivo auxilia a empresa a implantação de outras práticas enxutas em seu processo produtivo. Apesar disso ele é o menos importante do fator devido a ele não receber influência de nenhum dos outros subfatores.

A Sincronização pelo *takt time* (S_{23}) é o subfator mais influenciado do GP, sofrendo influência de todos os subfatores. Isso mostra que S_{23} é alcançada quando as operações estão padronizadas, o índice de multifuncionalidade dos colaboradores é satisfatório, as células de manufatura estão cumprindo o desejado, o TPM mantém as máquinas com alta disponibilidade e eficiência, além do MFV identificar todas as fontes de desperdícios do processo e auxiliando no *kaizen* do sistema.



Uso de ferramentas da qualidade (S_{32}), *Poka yoke* (S_{33}) e Gestão visual (S_{36}) são os subfatores mais importantes do TQM, sendo que S_{32} e S_{36} são os únicos elementos base do fator, ressaltando a importância deles.

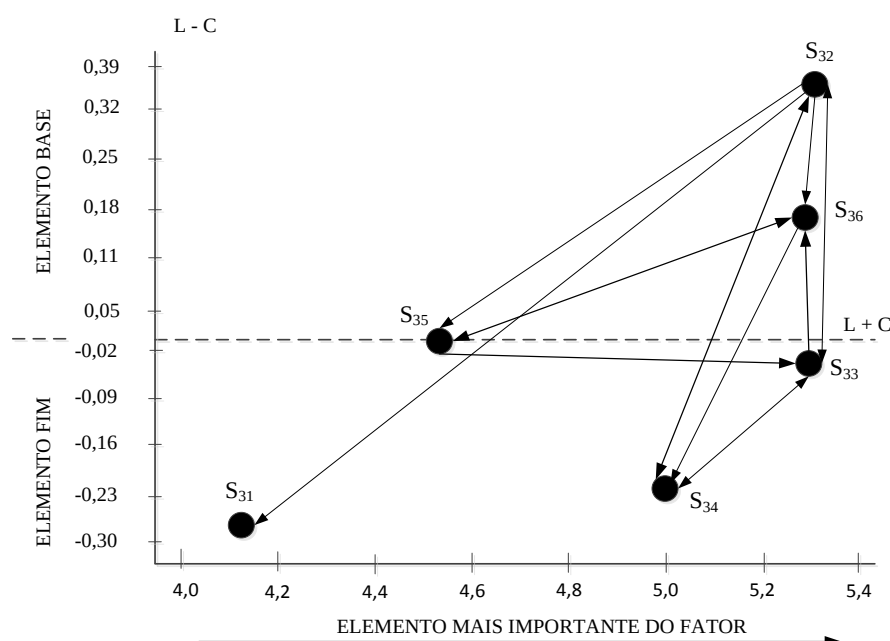
Tabela 20 – Valores defuzzificados de L + C e L – C do fator TQM

TQM	$\Sigma L + \Sigma C$	$\Sigma L - \Sigma C$
S ₃₁	4,10	-0,27
S ₃₂	5,32	0,37
S ₃₃	5,32	-0,03
S ₃₄	5,00	-0,22
S ₃₅	4,54	0,00
S ₃₆	5,32	0,15
Média da matriz total T defuzzificada		0,41

Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso de ferramentas da qualidade de forma coerente consiste em uma metodologia para análise e solução de problemas reais ou potenciais. Esta metodologia está intrinsecamente ligada à melhoria dos processos e envolve o planejamento e utilização de subfatores como o CEP, o *Poka yoke*, 5S, Gestão visual, além da atribuição de autonomia ao colaborador e automação das máquinas (*Jidoka*). Portanto, esse resultado está coerente com a realidade.

A gestão visual, por sua vez, proporciona enxergar rapidamente o fluxo dos processos, bem como interpretar os indicadores de desempenho da empresa. A análise dessas informações possibilita implantar práticas enxutas pertinentes às necessidades do processo produtivo da empresa.

Figura 21 – Matriz L + C, L – C do fator *Total Quality Management*

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Controle Estatístico do Processo (CEP) (S_{31}) não influencia em nenhum subfator de TQM e é influenciado apenas por S_{32} . Esta análise evidencia que o CEP é um subfator praticamente isolado entre toda a integração do sistema.

Além do CEP, o *Poka yoke* (S_{33}) e o *Jidoka* (S_{34}) são os elementos fim do fator TQM.

O quarto fator do modelo corresponde aos Fatores Humanos (FH). Analisando os resultados da Figura 22, constata-se que o Compartilhamento de informações (S_{41}) é o elemento mais importante do fator. Porém, ele é considerado um elemento fim, recebendo a influência do Comprometimento liderança e alta gerência (S_{42}) e dos Treinamentos *lean* (S_{43}).

Tabela 21 – Valores defuzzificados de $L + C$ e $L - C$ do fator FH

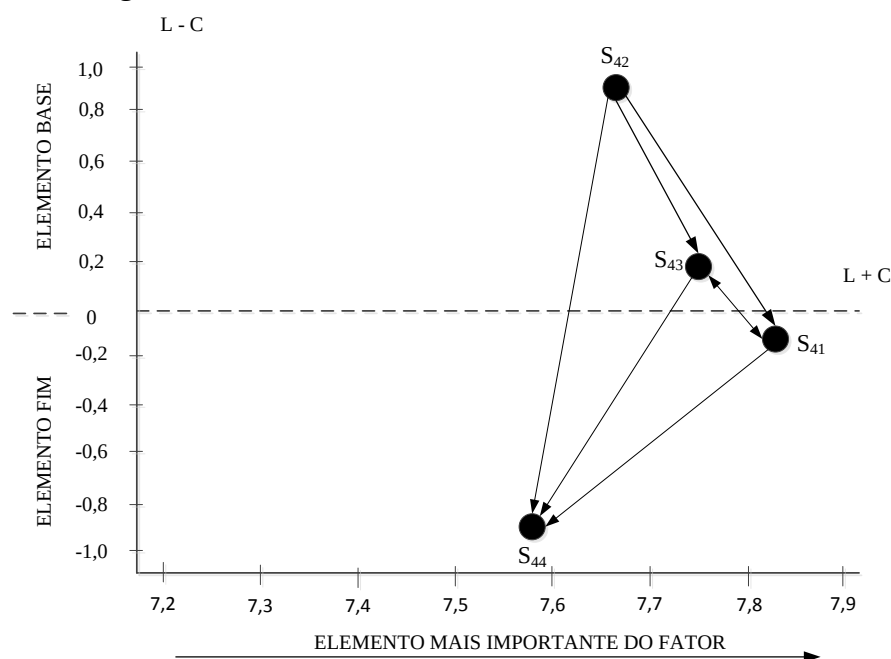
FH	$\Sigma L + \Sigma C$	$\Sigma L - \Sigma C$
S_{41}	7,83	-0,18
S_{42}	7,68	0,89
S_{43}	7,75	0,19
S_{44}	7,57	-0,89
Média da matriz total T defuzzificada		0,96

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Comprometimento liderança e alta gerência é o maior elemento base do fator, influenciando em todos os demais subfatores de FH. Essencialmente, toda implantação de um sistema de gestão ou produção específico requer o envolvimento de todos os colaboradores, iniciando-se pela alta gestão da empresa. Dessa forma, se ela está comprometida com o projeto, existe a forte tendência de disseminação de todo este empenho por toda a organização. Neste caso específico, as informações serão compartilhadas com maior eficiência, os treinamentos *lean* pertinentes serão aplicados com excelência e as APGs serão consolidadas, atingirão as metas e proporcionarão a excelência operacional da empresa.

A prática Atividades de Pequenos Grupos (S_{44}) representa um dos elementos fim do fator e recebe influência de todos os subfatores de FH, sem, entretanto, exercer influência sobre qualquer um deles. Logicamente, para que a APG seja bem implementada ela necessita do compartilhamento eficaz das informações para que a análise dos dados seja confiável, deve receber o apoio irrestrito e ser acompanhado pela alta gestão, a qual está comprometida com a evolução dos grupos, assim como os treinamentos *lean* devem ser aplicados com cada membro das APGs, contribuindo para a implantação da cultura voltada para a identificação e eliminação dos desperdícios ao longo do processo produtivo, bem como da mentalidade *kaizen*.

Figura 22 – Matriz L + C, L – C do fator Fatores Humanos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após determinar o nível de implementação da PE na Empresa X com base no GTA e classificar os elementos do sistema, torna-se possível e indispensável estabelecer as prioridades de melhoria do nível de implementação da PE na Empresa X. Este é o escopo da última etapa do modelo proposto.

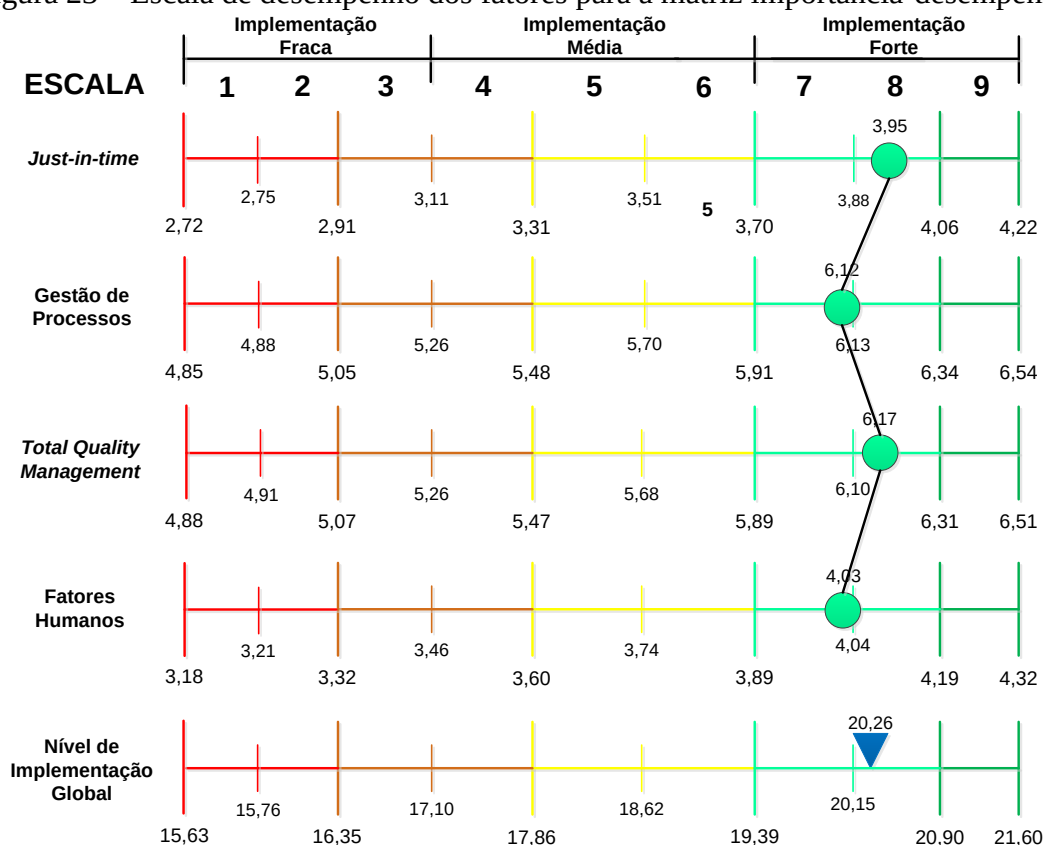
4.4 ETAPA 7: PRIORIZAÇÃO DE MELHORIAS

Antes de construir e analisar a matriz importância-desempenho e estabelecer as prioridades de melhoria, necessitou-se converter os valores de L + C para importância relativa e as variáveis linguísticas de desempenho em valores discretos.

Primeiramente foram convertidos os desempenhos de cada fator. A Figura 23 apresenta os resultados de cada fator quanto aos respectivos níveis de implementação. Baseado nos intervalos da figura, tem-se a escala de desempenho da matriz, que vai de 1 a 9. Logo, infere-se da Figura 23 que JIT e TQM estão posicionados no valor 8 da escala, enquanto que GP e FH estão no valor 7.

A Figura 23 evidencia o posicionamento dos desempenhos de cada fator na escala discreta de desempenho, a qual foi elaborada para ser utilizada na matriz importância-desempenho.

Figura 23 – Escala de desempenho dos fatores para a matriz importância-desempenho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de $L + C$ de cada fator foram as bases para a construção da escala discreta da importância relativa. Com isso, a Tabela 22 apresenta os valores utilizados para determinar os intervalos entre as escalas.

Tabela 22 – Indicadores $L + C$ dos fatores para construção dos intervalos de importância

FATOR	Min $L + C$	Max $L + C$	R	Intervalo entre escalas
GLOBAL	10,27	10,79	0,52	0,06
JIT	8,11	11,26	3,15	0,35
GP	4,53	6,22	1,69	0,19
TQM	4,10	5,32	1,23	0,14
FH	7,57	7,83	0,25	0,03

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores da Tabela 22 determinaram as faixas para a escala da importância relativa dos fatores dentro do sistema. Logo, baseado nestes valores, o Quadro 24 mostra os intervalos para a matriz importância-desempenho do sistema global.

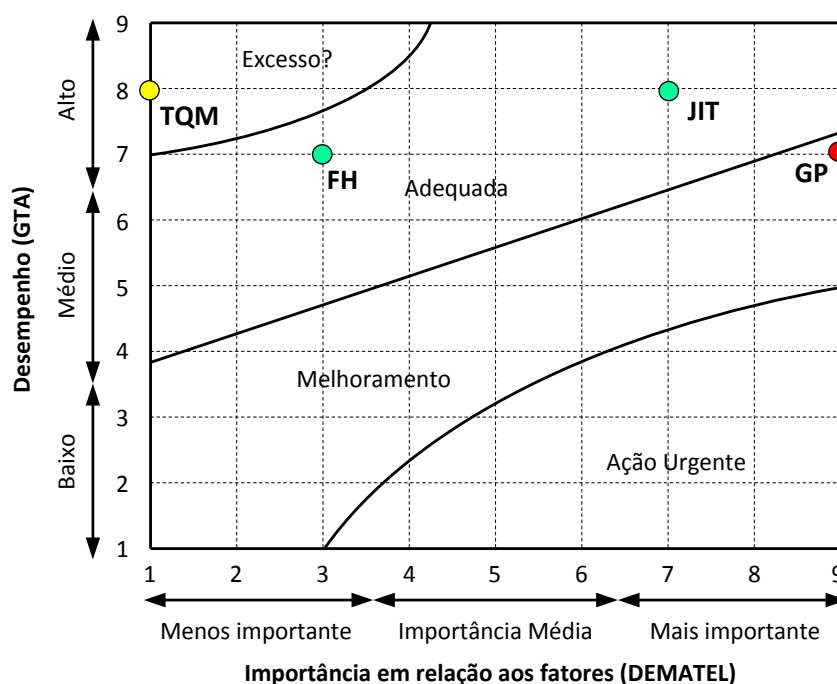
Quadro 24 – Escalas de importância relativa para a matriz importância-desempenho

Faixas de importância relativa dos fatores			Escala	Importância relativa
10,27	└───┐	10,33	1	Baixa
10,33	└───┐	10,39	2	
10,39	└───┐	10,45	3	
10,45	└───┐	10,51	4	Média
10,51	└───┐	10,57	5	
10,57	└───┐	10,63	6	
10,63	└───┐	10,69	7	Alta
10,69	└───┐	10,75	8	
10,75	└───┐	10,81	9	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, extraindo as escalas de desempenho da Figura 23 e as escalas de importância relativa do Quadro 24, é possível construir a matriz importância-desempenho para o sistema global, apresentando na Figura 24.

Figura 24 – Matriz importância-desempenho do sistema global



Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se na Figura 24 que o fator Gestão de Processos (GP) está na zona de ‘Melhoramento’. Este resultado indica que, pelo fato de GP ser considerado o elemento mais importante do sistema, o seu alto nível de implementação da Produção Enxuta não foi suficiente para colocá-lo na zona ‘Adequada’ – apesar de estar próximo de alcançá-la.

Outro fator que requer uma análise mais cuidadosa é o *Total Quality Management* (TQM), visto que ele está localizado na zona de ‘Excesso?’. O fator apresentou um alto valor de desempenho, mas foi considerado como o de menor importância relativa para o sistema. Logo, é importante avaliar se realmente existe um investimento desnecessário aplicado para alavancar o desempenho do TQM ou se o processo produtivo da empresa realmente adquiriu um *know-how* de excelência a ponto de alcançar resultados acima do necessário. Caso a empresa esteja concentrando seus esforços em TQM, sugere-se mudar o foco do investimento. Caso contrário não há problema em TQM permanecer nesta zona da matriz.

Sendo assim foi preciso analisar no detalhe, por meio da matriz importância-desempenho, quais subfatores de GP necessitavam de melhoria para alavancar o seu desempenho.

Para estabelecer as escalas de desempenho dos subfatores de GP, necessitou-se converter as avaliações dos analistas da Empresa X na escala contínua. O Quadro 17 da seção 3.2.7 apresentou as escalas.

O Quadro 25 apresenta as faixas de importância relativa dos subfatores de GP, as quais determinaram as suas escalas.

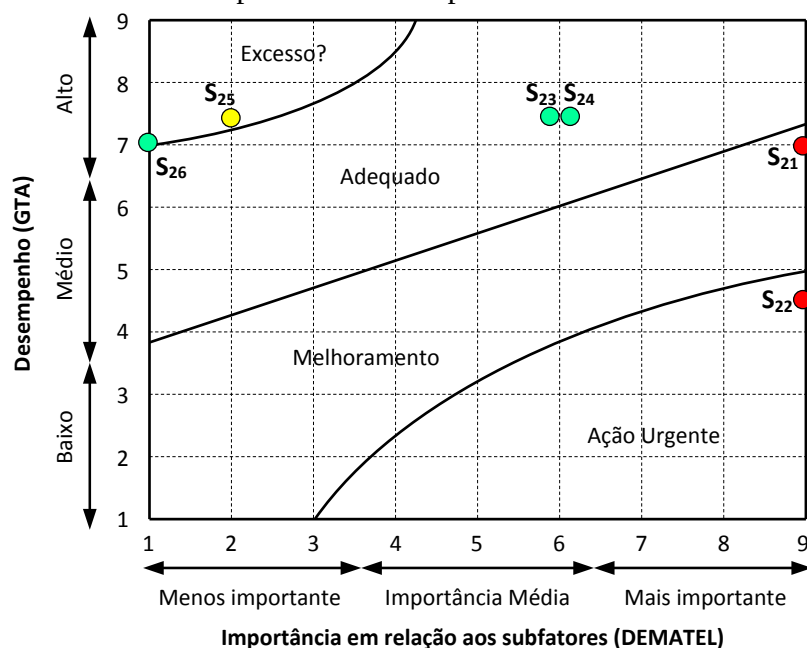
Quadro 25 – Escalas de importância relativa de GP para a matriz importância-desempenho

Faixas de importância relativa dos subfatores			Escala	Importância relativa
4,53	└───	4,72	1	Baixa
4,72	└───	4,91	2	
4,91	└───	5,10	3	
5,10	└───	5,29	4	Média
5,29	└───	5,48	5	
5,48	└───	5,67	6	
5,67	└───	5,86	7	Alta
5,86	└───	6,05	8	
6,05	└───	6,24	9	

Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse das escalas de desempenho e de importância relativa de cada subfator, foi possível construir a matriz importância-desempenho de GP, ilustrada na Figura 25.

Figura 25 – Matriz importância-desempenho do fator Gestão de Processos



Conforme apresentado na Figura 25, o modelo referencial indica a Empresa X a priorizar ações de melhoria nos subfatores Padronização das operações (S_{21}) e Trabalhadores multifuncionais (S_{22}). Este último mostra maior criticidade, visto que encontra-se na zona de ‘Ação Urgente’. De fato, seu desempenho foi considerado pelos analistas como o menor dentre os 20 subfatores e, relacionando isso à sua alta importância dentro de GP, o credencia como a prática de máxima prioridade. A Padronização das operações também requer melhorias, embora não seja tão urgente quando Trabalhadores multifuncionais.

4.4.1 Análise de sensibilidade

De modo a confirmar a efetividade das sugestões de melhoria identificadas pelo modelo referencial, uma análise de sensibilidade foi realizada com base na manipulação dos valores de algumas variáveis. Suponha-se que a Empresa X concentrasse suas ações para a melhoria de S_{21} e S_{22} . A Tabela 23 apresenta os valores hipotéticos alcançados pela Empresa X após a implementação das ações planejadas.

Tabela 23 – Simulação de novos valores de desempenho alcançados pela Empresa X

Subfator	De	Para
Padronização das operações (S_{21})	A (6,25; 7,50; 8,75)	A/MA (6,85; 8,10; 9,35)
Trabalhadores multifuncionais (S_{22})	RB/M (3,33; 4,58; 5,83)	A (6,25; 7,50; 8,75)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Então, as etapas do *fuzzy-GTA* foram executadas novamente para encontrar os novos valores de GP e do nível de implementação global. Os valores simulados de GP e GLOBAL são apresentados na Tabela 24.

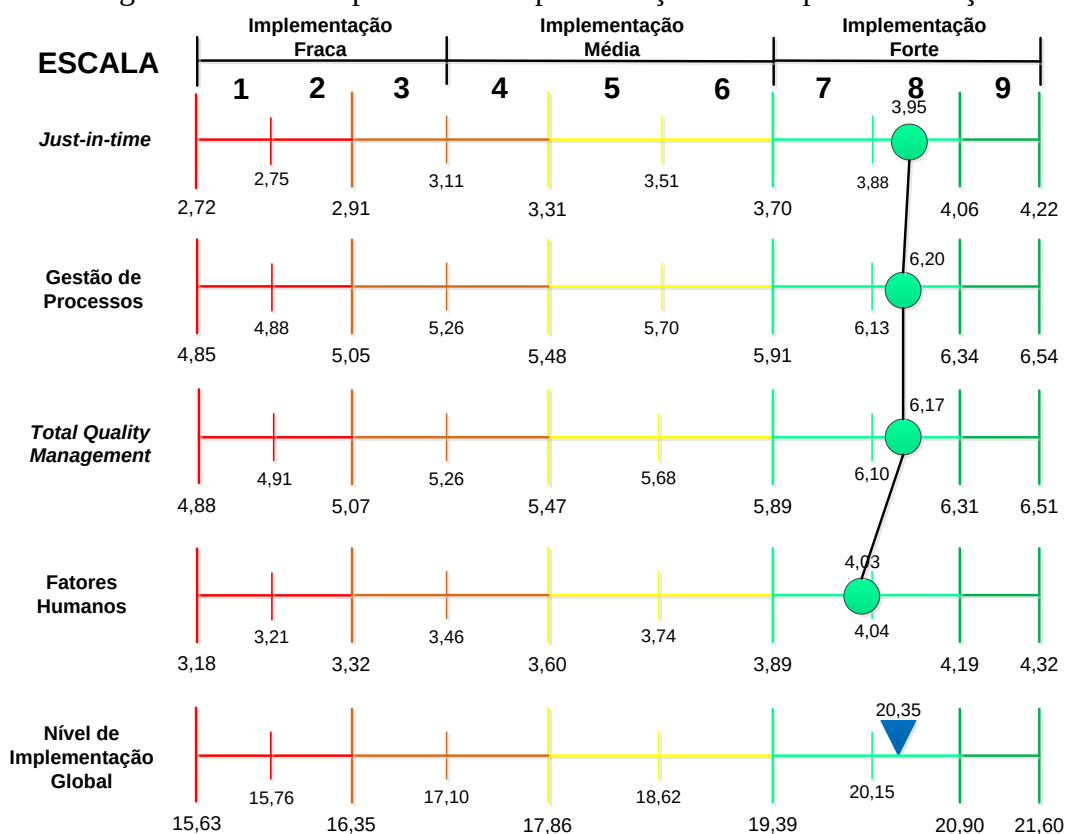
Tabela 24 – Permanentes hipotéticos após a simulação

Fator	Permanente logaritimizado
Gestão de Processos (GP)	Per (GP) = (5,60; 6,27; 6,80)
Nível de Implementação Global	Per (GLOBAL) = (18,50; 20,54; 22,14)

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Figura 26 é possível constatar que, caso os desempenhos de S_{21} e S_{22} sejam alavancados, o nível de implementação de GP será mais forte, passando para o valor 8 da escala de desempenho na matriz.

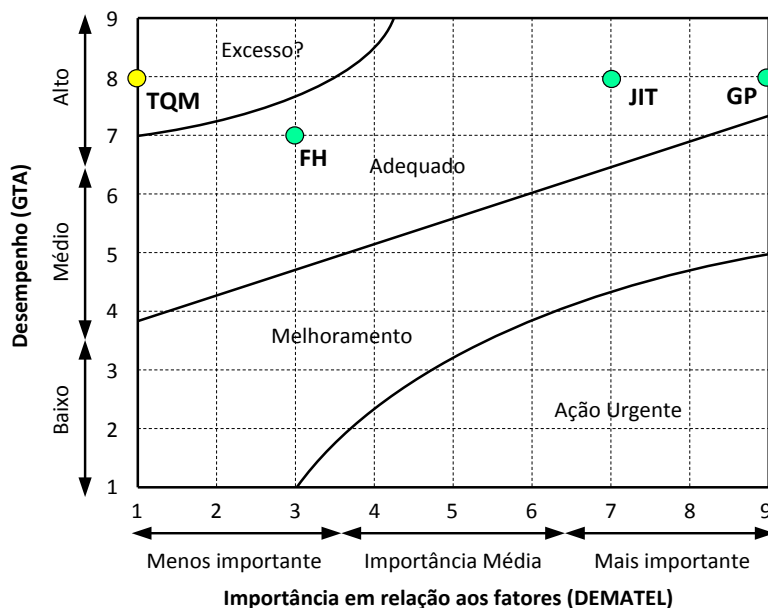
Figura 26 – Nível hipotético de implementação da PE após a simulação



Fonte: Elaborado pelo autor.

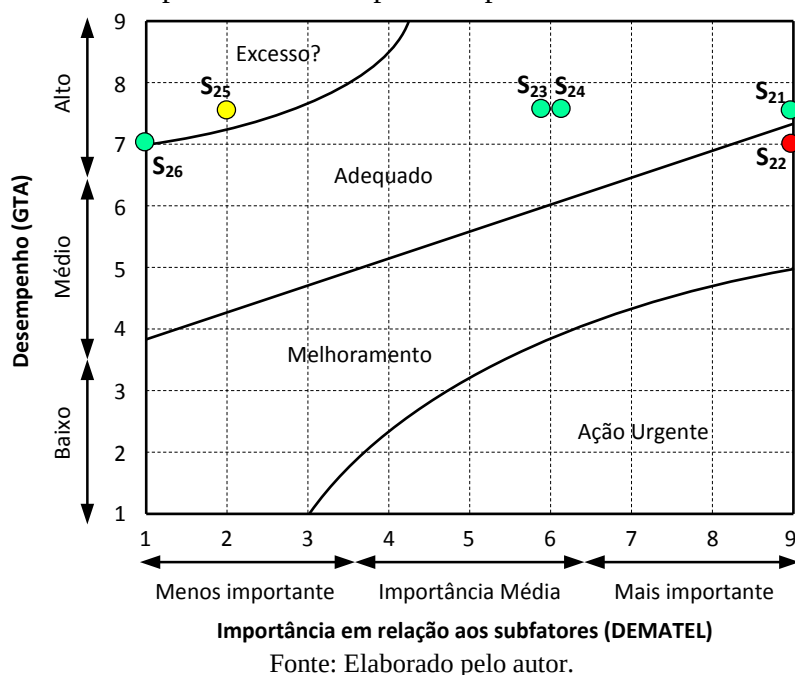
Dessa forma, confirma-se que o modelo referencial indicou corretamente quais eram as prioridades de melhoria em GP para que ele saísse da zona de ‘Melhoramento’. Esta conclusão pode ser percebida na Figura 27.

Figura 27 – Matriz importância-desempenho hipotética do sistema global



A Figura 28 mostra que o fator GP ainda apresenta oportunidades de melhorias, visto que, mesmo simulando o avanço no desempenho do subfator S_{22} , ele ainda estaria localizado na zona de ‘Melhoramento’. Portanto, a prática enxuta Trabalhadores multifuncionais continuaria a ser o foco da Empresa X na busca pela melhoria contínua da implementação da Produção Enxuta.

Figura 28 – Matriz importância-desempenho hipotética do fator Gestão de Processos



É importante salientar que, de acordo com a Figura 20 na seção 4.3.2, os subfatores Padronização das operações (S_{21}), *Layout* celular (S_{24}), Manutenção Produtiva Total (S_{25}) e Mapeamento do Fluxo de Valor (S_{26}) exercem influência significativa para a ascensão de S_{22} , ou seja, ao melhorar o desempenho de S_{21} , S_{24} , S_{25} e S_{26} , o desempenho de S_{21} também tenderia a melhorar. Entretanto, conforme mostrado na matriz importância-desempenho de GP (Figura 25), a priorização dos subfatores S_{25} e S_{26} não seria muito eficaz, por conta de suas baixas importâncias relativas para o fator. Sendo assim, a Empresa X poderia estudar formas de melhorar o desempenho S_{21} por meio de melhorias realizadas prioritariamente em S_{21} e S_{24} .

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões da pesquisa sob a perspectiva do atendimento aos objetivos, das contribuições da pesquisa, das limitações encontradas em sua execução, bem como das oportunidades de pesquisas futuras a partir de suas lacunas.

5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS

A revisão dos estudos sobre avaliação da PE considerando as práticas enxutas possibilitou a percepção de alguns requisitos necessários para alcançar uma avaliação integrada do nível de implementação da PE. Paralelamente, as principais ferramentas de análise quantitativa utilizadas nestes estudos foram revisadas e suas características foram relacionadas com os requisitos, de modo a verificar se as ferramentas atendiam aos requisitos.

Tal verificação levou à combinação de 3 ferramentas quantitativas: o *Graph Theoretic Approach* (GTA), a lógica *fuzzy* e o *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL). Incorporado ao *fuzzy*, um método de defuzzificação também foi adotado pelo modelo; este método foi o CFCS *phase – Converting the Fuzzy data into Crisp Scores*. Estas ferramentas foram consideradas as mais adequadas para a construção do modelo. Assim, o modelo referencial de avaliação integrada da PE foi estruturado com uma abordagem quali-quantitativa e baseado nas 3 ferramentas de análise quantitativa. O modelo, composto por 7 etapas, também utilizou a técnica *Delphi* e a matriz importância-desempenho de Slack (1994).

Os fatores e subfatores utilizados no modelo foram selecionados com base nas revisões sobre os temas *lean bundles* e *lean assessment* considerando as práticas enxutas. Tais elementos selecionados foram os mais utilizados pelos trabalhos anteriores.

Toda a revisão e análise citadas acima foram consequências da preconização da literatura acerca da importância e da necessidade de que as empresas levem em consideração que as práticas enxutas sofrem uma relação de interdependência. Logo, o modelo desenvolvido por esta pesquisa visou a atender esse fato. Ele proporcionou a avaliação do nível de implementação da PE considerando dois parâmetros principais: o desempenho de cada prática e o grau de influência que determinada prática exerce sobre outra. O resultado final foi o estabelecimento de um valor que indicou o real nível de implementação das práticas enxutas sob uma perspectiva sistêmica, e tornou explícitos quais grupos de práticas deveriam ser priorizados para um futuro desenvolvimento do nível de implementação da PE.

O modelo desenvolvido visou a atender todos os requisitos elencados empiricamente com base na revisão da literatura sobre o tema. Consequentemente, o modelo proporcionou à organização avaliar o nível de implementação de cada conjunto de práticas, bem como o seu nível global. E além de identificar em que estágio de implementação se encontrava, o modelo apresentou como melhorar o nível de implementação da PE ao identificar quais as prioridades de ações necessárias para a continuidade do processo de implementação.

Para desenvolver o modelo referencial de avaliação do nível de implementação da Produção Enxuta que considere as interações entre as práticas enxutas, foi necessário, essencialmente, atender aos objetivos específicos do estudo, os quais estão elencados a seguir.

- Identificar lacunas e complementaridades dos principais modelos e ferramentas de avaliação da Produção Enxuta apresentados na literatura.

Alguns modelos de avaliação do nível de implementação da PE foram desenvolvidos ao longo dos anos, conforme apresentado no Capítulo 2 da pesquisa. Logo, necessitou-se realizar a revisão da literatura e elencar os artigos que abordaram este subtema da PE. Portanto, após realizada a revisão, encontrou-se 52 artigos, os quais foram estudados sob uma visão crítica.

Todos os artigos selecionados foram lidos na íntegra, visando à compreensão das metodologias e modelos propostos para a avaliação da implementação da PE. As contribuições e limitações dos estudos foram consideradas para desenvolver um novo modelo de avaliação.

Em paralelo à revisão da literatura sobre os modelos de avaliação da PE, ocorreu a revisão das ferramentas de análise quantitativa existentes na literatura. Cada uma das ferramentas revisadas foram utilizadas em pesquisas anteriores para avaliar o nível de implementação da PE, seja isolada ou em combinação com outra ferramenta.

- Estabelecer os requisitos para construção de um modelo que avalie a Produção Enxuta considerando a integração entre suas práticas.

Após a leitura dos 52 artigos que trataram o subtema avaliação do nível de implementação da PE, foi possível identificar as potencialidades e limitações de cada modelo proposto anteriormente e, assim, culminando na extração de alguns requisitos para avaliar a implementação da PE de maneira adequada.

Os sete requisitos que foram extraídos por meio da revisão dos estudos são os seguintes: redução da imprecisão pela avaliação subjetiva; estabelecimento de *bundles*, ou seja, a formação de conjuntos de práticas; consideração da PE como um sistema integrado por meio da avaliação das interações entre os elementos; classificação dos elementos quanto às relações entre eles; estabelecimento de parâmetros (escalas de classificação) que permitam determinar o nível de implementação da PE; determinação de um valor global de *leanness*, de modo a identificar em que estágio de implementação o sistema de uma organização se encontra; identificação das práticas enxutas que devem ser priorizadas para alavancar o nível global de implementação futuramente, guiando, dessa forma, a priorização de melhorias posteriormente. O Quadro 8 na seção 2.3.2 apresenta as descrições dos requisitos, relacionando as fontes de identificação de cada uma delas.

Compreendidos quais requisitos deveriam ser atendidos para o desenvolvimento de um modelo de avaliação integrada, bem como da identificação das vantagens e limitações das ferramentas de análise quantitativa, tornou-se possível analisar e relacionar a capacidade das ferramentas em atender a cada um dos requisitos estabelecidos. O Quadro 10, na seção 2.4.7, apresentou a análise das ferramentas, evidenciando a necessidade de combinação de três delas, pois isoladamente não conseguiam atender a todos os sete requisitos.

- Avaliar o nível de implementação da Produção Enxuta em uma empresa selecionada para testar a aplicabilidade do modelo proposto.

O modelo referencial, após ser desenvolvido, necessitou ter sua aplicabilidade testada em uma empresa que possuísse a PE implantada em seu processo produtivo. Para isso, realizou-se um estudo de caso em uma montadora de automóveis, chamada no estudo de Empresa X. Após observações do pesquisador durante visitas à empresa, percebeu-se que todas as práticas abordadas no modelo proposto estavam implantadas no seu processo.

Foram entrevistados três avaliadores da Empresa X de forma individual, sendo que cada um deles avaliou o desempenho de cada uma das vinte práticas consideradas no modelo desenvolvido. Os valores coletados nas entrevistas foram convertidos em números *fuzzy* e inseridos no modelo, especificamente nas etapas 2 e 3 do modelo, respectivamente.

5.2 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Ao analisar o estudo, pode-se extrair algumas contribuições dadas por ele para o subtema avaliação do nível de implementação da Produção Enxuta. São elas:

- Desenvolvimento de um modelo que avalia o nível de implementação da PE de maneira integrada, ou seja, considerando, além do desempenho individual de cada prática, as relações entre elas, em conformidade com a visão da Produção Enxuta como um sistema.
- A estrutura do modelo é considerada uma das principais contribuições, pois pode ter seus elementos substituídos por outros que sejam particularizados para cada empresa, sem alterar sua capacidade de gerar informações para tomada de decisão. Podem ser adicionados quantos fatores e subfatores a empresa achar pertinente para avaliar seu sistema ou processos. A própria empresa pode atribuir os valores das relações entre os fatores e subfatores escolhidos, permitindo a realização de um autodiagnóstico.
- O modelo desenvolvido utiliza números *fuzzy*, que auxilia a reduzir a imprecisão da avaliação qualitativa realizada pelos entrevistados.
- O modelo desenvolvido não apresenta apenas um diagnóstico sobre o estágio atual de implementação da PE, mas também norteia a empresa sobre as ações para futuras melhorias, apontando os fatores e, mais detalhadamente, as práticas (subfatores) que devem ser priorizadas para alavancar o nível de implementação da PE.
- A realização do *Delphi* com especialistas para a nota das relações entre fatores e entre subfatores agregou uma consistência teórica à pesquisa, devido ao fato de profissionais e pesquisadores com experiência em PE atribuírem tais notas de forma imparcial e embasados pelos conceitos de cada *bundle* (fator) e cada prática (subfator).

5.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa, naturalmente, também apresentou algumas limitações, identificadas ao longo e após sua realização. Elas estão elencadas abaixo:

- A avaliação dos desempenhos dos subfatores foi realizada considerando todas as etapas processo produtivo da empresa, considerando que a avaliação por setor poderia fornecer um diagnóstico mais preciso, área por área.

- Não foi possível considerar as relações verticais extra-*bundle* entre alguns elementos do modelo. Em outras palavras, não foi possível relacionar um fator com um subfator pertencente a outro fator. Por outro lado, também não foi possível considerar as relações horizontais extra-*bundle* entre subfatores pertencentes a fatores distintos. Esse quesito limitou a capacidade de integração do modelo.
- Com relação ao *Delphi*, apesar da convergência geral das respostas ser considerada satisfatória (87%), necessitou-se calcular as médias das relações, visto que algumas das 96 relações não apresentaram consenso (100% de convergência) entre os participantes.
- As notas para as relações entre os subfatores e entre os fatores consideraram o sentido diretamente proporcional, mas não a possível ocorrência de *trade-offs* entre os elementos, ou seja, se um elemento melhora o desempenho, o outro piora.
- A importância relativa dos elementos, adotada na matriz importância-desempenho, possui um conceito diferente da matriz original de Slack (1994), o que pode provocar potenciais exageros ou disparidades na análise dos fatores e subfatores.

5.4 OPORTUNIDADES PARA FUTURAS PESQUISAS

De acordo com as limitações encontradas na pesquisa, assim como as potencialidades identificadas nela, podem-se listar algumas oportunidades para futuras pesquisas:

- Desenvolver um *software* para a aplicação do modelo proposto, tornando-o mais simples e iterativo para as empresas. O *software* deve ser flexível o suficiente para a atribuição de quantos fatores e subfatores a empresa utilizadora achar necessário.
- Utilizar uma ferramenta de análise quantitativa que seja capaz de relacionar um fator com um subfator que não faça parte dele, como também relacionar subfatores de fatores distintos. Tomando como base a estrutura dessa pesquisa, seria interessante, por exemplo, considerar a relação entre *Just-in-time* (fator) e Sincronização pelo *takt time* (subfator), assim como Treinamentos *lean* (subfator) e Manutenção Produtiva Total (TPM) (subfator).
- Inserir no modelo indicadores de resultados da aplicação da PE, além das práticas enxutas já consideradas, de modo a complementar a avaliação integrada da PE.
- Considerar os possíveis *trade-offs* entre os elementos do modelo, atribuindo notas negativas para as relações entre os elementos caso um influencie no outro de forma negativa;
- Aplicar o modelo referencial em outras empresas que adotam a Produção Enxuta em seu processo produtivo.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. Modeling the metrics of lean, agile and leagile supply chain: an ANP-based approach. **European Journal of Operational Research**, v. 173, n. 1, p. 211-225, 2006.
- AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S. Total productive maintenance: literature review and directions. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 25, n. 7, p. 709-756, 2008.
- AKYUZ, E.; CELIK, E. A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 38, p. 243-253, 2015.
- AL-AOMAR, R. Handling multi-lean measures with simulation and simulated annealing. **Journal of the Franklin Institute**, v. 348, n. 7, p. 1506-1522, 2011.
- ALEMI, M. A.; AKRAM, R. Measuring the leanness of manufacturing systems by using fuzzy TOPSIS: A case study of the 'Parizan Sanat' company. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 24, n. 3, p. 166-174, 2013.
- ALMOMANI, M. A. *et al.* A proposed integrated model of lean assessment and analytical hierarchy process for a dynamic road map of lean implementation. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 72, n. 1-4, p. 161-172, 2014.
- AL-NAJEM, M. *et al.* Lean readiness level within Kuwaiti manufacturing industries. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 4, n. 3, p. 280-320, 2013.
- ANAND, G.; BAHINIPATI, B. K. Measuring horizontal collaboration intensity in supply chain: a graph-theoretic approach. **Production Planning & Control**, v. 23, n. 10-11, p. 801-816, 2012.
- ANVARI, A. *et al.* An integrated design methodology based on the use of group AHP-DEA approach for measuring lean tools efficiency with undesirable output. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 70, n. 9-12, p. 2169-2186, 2014.
- ANVARI, A.; ZULKIFLI, N.; YUSUFF, R. M. A dynamic modeling to measure lean performance within lean attributes. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 66, n. 5-8, p. 663-677, 2013.
- ARUL, T. G.; ARUMUGAM, C.; PARTHIBAN, P. Evaluation of lean manufacturing systems using MADM and fuzzy TOPSIS. **Applied Mechanics and Materials**, v. 592-594, p. 2628-2638, 2014.
- AZADEH, A. *et al.* Leanness assessment and optimization by fuzzy cognitive map and multivariate analysis. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 15, p. 6050-6064, 2015.
- AZEVEDO, S. G. *et al.* An integrated model to assess the leanness and agility of the automotive industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 85-94, 2012.
- BAYKASOGLU, A. A review and analysis of “graph theoretical-matrix permanent” approach to decision making with example applications. **Artificial Intelligence Review**, v. 42, n. 4, p. 573-605, 2014.
- BAYOU, M. E.; KORVIN, A. Measuring the leanness of manufacturing systems: a case study of Ford Motor Company and General Motors. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 25, n. 4, p. 287-304, 2008.

- BEHROUZI, F.; WONG, K. Y. An integrated stochastic-fuzzy modeling approach for supply chain leanness evaluation. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 68, n. 5-8, p. 1677-1696, 2013.
- BEHROUZI, F.; WONG, K. Y. Lean performance evaluation of manufacturing systems: a dynamic and innovative approach. **Procedia Computer Science**, v. 3, p. 388-395, 2011.
- BHASIN, S. Lean and performance measurement. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 19, n. 5, p. 670-684, 2008.
- BHASIN, S. Measuring the leanness of an organisation. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 2, n. 1, p. 55-74, 2011.
- BHASIN, S. Performance of lean in large organisations. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 31, n. 3, p. 349-357, 2012.
- BHASIN, S.; BURCHER, P. Lean viewed as a philosophy. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 1, p. 56-72, 2006.
- BLACK, J. T. Design rules for implementing the Toyota Production System. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 16, p. 3639-3664, 2007.
- BONAVIA, T.; MARIN, J. A. An empirical study of lean production in the ceramic tile industry in Spain. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 5, p. 505-531, 2006.
- BORTOLOTTI, T.; BOSCARI, S.; DANESE, P. Successful lean implementation: Organizational culture and soft lean practices. **International Journal of Production Economics**, v. 160, p. 182-201, 2015.
- BURCHER, P.; DUPERNEX, S.; RELPH, G. The road to lean repetitive batch manufacturing: modelling planning system performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 2, p. 210-220, 1996.
- CAMACHO-MIÑANO, M.; MOYANO-FUENTES, J.; SACRISTÁN-DÍAZ, M. What can we learn from the evolution of research on lean management assessment? **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 4, p. 1098-1116, 2013.
- CAMPOS, S. T. C. C. **Aplicação do “Lean Assessment” para avaliação do estágio de implementação das ferramentas de manufatura enxuta em uma empresa da indústria automotiva e sua relação com o plano de negócios**. 2011. 201f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2011.
- CARDOZA, E.; CARPINETTI, L. C. R. Indicadores de desempenho para o sistema de produção enxuto. **Revista Produção Online**, v. 5, n. 2, p. 2-7, 2005.
- CHANG, B.; CHANG, C.; WU, C. Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 3, p. 1850-1858, 2011.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.
- CHAUHAN, G.; SINGH, T. P. Measuring parameters of lean manufacturing realization. **Measuring Business Excellence**, v. 16, n. 3, p. 57-71, 2012.
- CHIROLI, D. M. G.; RAMOS, V. E. Implementação do programa 5S e TRF em uma indústria de transformação de plásticos da cidade de Maringá-PR. **INOVAE – Journal of Engineering and Technology Innovation**, v. 3, n. 1, p. 3-20, 2015.

- CIL, I.; TURKAN, Y. S. An ANP-based assessment model for lean enterprise transformation. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 64, n. 5-8, p. 1113-1130, 2013.
- CIRINO, S. R. A. *et al.* Sistema de Produção Enxuta: analisando as práticas adotadas em uma indústria têxtil paraibana. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, n. 1, p. 9, 2013.
- CUA, K. O.; MCKONE, K. E.; SCHROEDER, R. G. Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance. **Journal of Operations Management**, v. 19, n. 6, p. 675-694, 2001.
- DAL FORNO, A. J. *et al.* Value stream mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 72, n. 5-8, p. 779-790, 2014.
- DAL PONT, G.; FURLAN, A.; VINELLI, A. Interrelationships among lean bundles and their effects on operational performance. **Operations Management Research**, v. 1, n. 2, p. 150-158, 2008.
- DEMETER, K.; MATYUSZ, Z. The impact of lean practices on inventory turnover. **International Journal of Production Economics**, v. 133, n. 1, p. 154-163, 2011.
- DIAS, F. T.; FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. Uma metodologia baseada em indicadores de desempenho para avaliação da implantação da manufatura enxuta: proposta e estudo de caso. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 04, n. 02, p. 104-122, 2008.
- DO VALLE, A. C. R. *et al.* Aplicação do método Benchmarking Enxuto em uma empresa metal mecânica. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 3, n. 4, p. 11, 2008.
- DOOLEN, T. L.; HACKER, M. E. A review of lean assessment in organizations: an exploratory study of lean practices by electronics manufacturers. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 24, n. 1, p. 55-67, 2005.
- ESWARAMOORTHY, M. *et al.* A survey on lean practices in Indian machine tool industries. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 52, n. 9-12, p. 1091-1101, 2011.
- FELD, W. M. **Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.
- FURLAN, A.; VINELLI, A.; DAL PONT, G. Complementarity and lean manufacturing bundles: an empirical analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 8, p. 835-850, 2011.
- GALSWORTHY, G. The value of vision: the language of lean production is self-ordering and self-improving. **Industrial Engineer**, v. 36, n. 8, p. 44-50, 2004.
- GARZA-REYES, J. A.; ATES, E. M.; KUMAR, V. Measuring lean readiness through the understanding of quality practices in the Turkish automotive suppliers industry. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 64, n. 8, p. 1092-1112, 2015.
- GHINATO, P. Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente *just-in-time*. **Produção**, v. 5, n. 2, p. 169-189, 1995.
- GHOSH, M. Lean manufacturing performance in Indian manufacturing plants. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 24, n. 1, p. 113-122, 2012.

- GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Manufatura enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 1-19, 2004.
- GOMIDE, F.; GUDWIN, R. R.; TANSCHKEIT, R. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos *fuzzy*, lógica *fuzzy* e aplicações. In: **6th IFSA Congress-Tutorials**, Campinas. São Paulo: IFSA. p. 1-38, 1995.
- GOODSON, R. E. Read a plant-fast. **Harvard Business Review**, v. 80, n. 5, p. 105-113, 2002.
- GUPTA, U. G.; CLARKE, R. E. Theory and applications of the Delphi technique: A bibliography (1975–1994). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 53, n. 2, p. 185-211, 1996.
- GUPTA, V.; ACHARYA, P.; PATWARDHAN, M. A strategic and operational approach to assess the lean performance in radial tyre manufacturing in India: a case based study. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 62, n. 6, p. 634-651, 2013.
- GURUMURTHY, A.; KODALI, R. Application of benchmarking for assessing the lean manufacturing implementation. **Benchmarking: An International Journal**, v. 16, n. 2, p. 274-308, 2009.
- GURUMURTHY, A.; MAZUMDAR, P.; MUTHUSUBRAMANIAN, S. Graph theoretic approach for analysing the readiness of an organisation for adapting lean thinking: a case study. **International Journal of Organizational Analysis**, v. 21, n. 3, p. 396-427, 2013.
- HASSAN, M. MD.; HOGG, G. L. A review of graph theory application to the facilities layout problem. **Omega**, v. 15, n. 4, p. 291-300, 1987.
- HOFER, A. R. *et al.* An institutional theoretic perspective on forces driving adoption of lean production globally: China vis-à-vis the USA. **The International Journal of Logistics Management**, v. 22, n. 2, p. 148-178, 2011.
- HOFER, C.; EROGLU, C.; HOFER, A. R. The effect of lean production on financial performance: The mediating role of inventory leanness. **International Journal of Production Economics**, v. 138, n. 2, p. 242-253, 2012.
- HYER, N. L.; BROWN, K. A. The discipline of real cells. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 5, p. 557-574, 1999.
- JASTI, N. V. K.; KODALI, R. A literature review of empirical research methodology in lean manufacturing. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 8, p. 1080-1122, 2014.
- JAYARAM, J.; DAS, A.; NICOLAE, M. Looking beyond the obvious: unraveling the Toyota production system. **International Journal of Production Economics**, v. 128, n. 1, p. 280-291, 2010.
- KARLSSON, C.; ÅHLSTRÖM, P. Assessing changes towards lean production. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 2, p. 24-41, 1996.
- KHADEM, M.; ALI, S. A.; SEIFODDINI, H. Efficacy of lean metrics in evaluating the performance of manufacturing systems. **International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice**, v. 15, n. 2, p. 176-184, 2008.

- KRAFCIK, J. F. **Comparative analysis of performance indicators at world auto assembly plants**. 1988. 124f. Dissertation (Master of Science in Management) – Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1988.
- KUMAR, A.; THOMAS, S. A software tool for screening analysis of lean practices. **Environmental Progress**, v. 21, n. 3, p. O12-O16, 2002.
- LAMBERT, D. M.; SHARMA, A. A customer-based competitive analysis for logistics decisions. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 20, n. 1, p. 17-24, 1990.
- LAOHA, C.; SUKTO, S. Lean assessment for manufacturing of small and medium enterprises: a case study of 2 industrial groups in northeast of Thailand. **International Business Management**, v. 9, n. 4, p. 590-595, 2015.
- LIKER, J. K. **The Toyota Way**: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004.
- LIN, C.; CHIU, H.; TSENG, Y. Agility evaluation using fuzzy logic. **International Journal of Production Economics**, v. 101, n. 2, p. 353-368, 2006.
- LIN, R. Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 40, p. 32-39, 2013.
- LINS, M. E. *et al.* O uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de hospitais universitários brasileiros. **Ciência & Saude Coletiva**, v. 12, n. 4, p. 985-98, 2007.
- LJUNGBERG, O. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998.
- LUCATO, W. C. *et al.* Performance evaluation of lean manufacturing implementation in Brazil. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 63, n. 5, p. 529-549, 2014.
- LUCATO, W. C. **Modelo referencial para a análise interna da posição competitiva de empresas de autopeças**. 2006. 218f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2006.
- LUCATO, W. C.; MAESTRELLI, N. C.; VIEIRA JÚNIOR, M. Determinação do grau de enxugamento de uma empresa: uma proposta conceitual. **Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 24, p. 25-38, 2006.
- MAASOUMAN, M. A.; DEMIRLI, K. Assessment of Lean Maturity Level in Manufacturing Cells. **IFAC-Papers OnLine**, v. 48, n. 3, p. 1876-1881, 2015.
- MAJOR, G. L. A.; BELDERRAIN, M. C. N. Problema de seleção de fornecedores: uma abordagem através do método de apoio multicritério à decisão ANP (*Analytic Network Process*). In: **14º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA**, 1, 2008, São José dos Campos. São José dos Campos: XIV ENCITA, 2008.
- 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, n. 5, p. 604-620, 2011.
- MARODIN, G. A.; SAURIN, T. A. Implementing lean production systems: research areas and opportunities for future studies. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 22, p. 6663-6680, 2013.

- MARTILLA, J. A.; JAMES, J. C. Importance-performance analysis. **Journal of Marketing**, v. 41, n. 1, p. 77-79, 1977.
- MASAI, P.; PARREND, P.; ZANNI-MERK, C. Towards a formal model of the lean enterprise. **Procedia Computer Science**, v. 60, p. 226-235, 2015.
- MATAWALE, C. R.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S. S. Lean metric appraisalment: exploration of grey numbers set theory. **Grey Systems: Theory and Application**, v. 4, n. 3, p. 400-425, 2014b.
- MATAWALE, C. R.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S. S. Leanness estimation procedural hierarchy using interval-valued fuzzy sets (IVFS). **Benchmarking: An International Journal**, v. 21, n. 2, p. 150-183, 2014a.
- MATAWALE, C. R.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S. S. Leanness metric evaluation platform in fuzzy context. **Journal of Modelling in Management**, v. 10, n. 2, p. 238-267, 2015.
- MATT, D. T.; RAUCH, E. Implementation of lean production in small sized enterprises. **Procedia CIRP**, v. 12, p. 420-425, 2013.
- MEHRJERDI, Y. Z. Measuring the leanness of suppliers using principal component analysis technique. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 23, n. 1, p. 130-138, 2012.
- MONDEN, Y. **Sistema Toyota de produção: uma abordagem integrada ao just-in-time**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- MOREIRA, A. C.; PAIS, G. C. S. Single minute exchange of die: a case study implementation. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 6, n. 1, p. 129-146, 2011.
- NASAB, H. H.; BIOKI, T. A.; ZARE, H. K. Finding a probabilistic approach to analyze lean manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 29, p. 73, 2012.
- NETLAND, T. H.; SCHLOETZER, J. D.; FERDOWS, K. Implementing corporate lean programs: the effect of management control practices. **Journal of Operations Management**, v. 36, p. 90-102, 2015.
- NIGHTINGALE, D. J.; MIZE, J. H. Development of a lean enterprise transformation maturity model. **Information-Knowledge-Systems Management**, v. 3, n. 1, p. 15-30, 2002.
- NOGUEIRA, M. G. S.; SAURIN, T. A. Proposta de avaliação do nível de implementação de típicas práticas da produção enxuta em uma empresa do setor metal-mecânico. **Revista Produção Online**, v. 8, n. 2, p. 1-28, 2008.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- OKOLI, C.; PAWLOWSKI, S. D. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. **Information & Management**, v. 42, n. 1, p. 15-29, 2004.
- OLIVER, N.; DELBRIDGE, R.; LOWE, J. Lean production practices: international comparisons in the auto components industry. **British Journal of Management**, v. 7, n. s1, p. S29-S44, 1996.
- OPRICOVIC, S.; TZENG, G-H. Defuzzification within a multicriteria decision model. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, v. 11, n. 05, p. 635-652, 2003.

- PAKDIL, F.; LEONARD, K. M. Criteria for a lean organisation: development of a lean assessment tool. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 15, p. 4587-4607, 2014.
- PANWAR, A. *et al.* On the adoption of lean manufacturing principles in process industries. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 7, p. 564-587, 2015.
- PAPADOPOULOU, T. C.; ÖZBAYRAK, M. Leanness: experiences from the journey to date. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 16, n. 7, p. 784-807, 2005.
- PASA, G. S. **Uma abordagem para avaliar a consistência teórica de sistemas produtivos**. 2004. 188f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- PETTERSEN, J. Defining lean production: some conceptual and practical issues. **The TQM Journal**, v. 21, n. 2, p. 127-142, 2009.
- POWELL, D. *et al.* The concurrent application of lean production and ERP: towards an ERP-based lean implementation process. **Computers in Industry**, v. 64, n. 3, p. 324-335, 2013.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2.ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.
- RAHMAN, S.; LAOSIRIHONGTHONG, T.; SOHAL, A. S. Impact of lean strategy on operational performance: a study of Thai manufacturing companies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 7, p. 839-852, 2010.
- RAJESH, A.; NIKHIL, D.; VIVEK, S. Graph theoretic approach (GTA) – a multi-attribute decision making (MADM) technique. **Research Journal of Engineering Sciences**, v. 2278, p. 9472, 2013.
- RAVIKUMAR, M. M. *et al.* Leanness evaluation in 6 manufacturing SME's using AHP and SEM techniques. **International Business Management**, v. 7, n. 6, p. 500-507, 2013.
- RAY, C. D. *et al.* The lean index: operational" lean" metrics for the wood products industry. **Wood and Fiber Science**, v. 38, n. 2, p. 238-255, 2006.
- RIVERA, L.; CHEN, F. F. Measuring the impact of Lean tools on the cost–time investment of a product using cost–time profiles. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 23, n. 6, p. 684-689, 2007.
- ROWE, G.; WRIGHT, G.; BOLGER, F. Delphi: a reevaluation of research and theory. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 39, n. 3, p. 235-251, 1991.
- RUBEM, A. P. S.; BRANDÃO, L. C. Multiple criteria data envelopment analysis – an application to UEFA EURO 2012. **Procedia Computer Science**, v. 55, p. 186-195, 2015.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks**. Pittsburgh: Springer, 2006.
- SABHARWAL, S.; GARG, S. Determining cost effectiveness index of remanufacturing: a graph theoretic approach. **International Journal of Production Economics**, v. 144, n. 2, p. 521-532, 2013.
- SALOMON, V.; MONTEVECCHI, J. Método de análise em redes: sucessor do método de análise hierárquica. **Produto & Produção**, v. 3, n. 2, p. 107-117, 1998.

- SANCHEZ, A. M.; PEREZ, M. P. Lean indicators and manufacturing strategies. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 21, n. 11, p. 1433-1452, 2001.
- SANTOS, A.; VIDOTTO, L. S.; GIUBLIN, C. R. A utilização do método Delphi em pesquisas na área da gestão da construção. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 2, p. 51-59, 2005.
- SAURIN, T. A.; FERREIRA, C. F. Avaliação qualitativa da implantação de práticas da produção enxuta: estudo de caso em uma fábrica de máquinas agrícolas. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 15, n. 3, p. 449-462, 2008.
- SAURIN, T. A.; MARODIN, G. A.; RIBEIRO, J. L. D. A framework for assessing the use of lean production practices in manufacturing cells. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 11, p. 3211-3230, 2011.
- SAURIN, T. A.; RIBEIRO, J. L. D.; MARODIN, G. A. Identificação de oportunidades de pesquisa a partir de um levantamento da implantação da produção enxuta em empresas do Brasil e do exterior. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 4, p. 829-841, 2010.
- SAWHNEY, R.; CHASON, S. Human behavior based exploratory model for successful implementation of lean enterprise in industry. **Performance Improvement Quarterly**, v. 18, n. 2, p. 76-96, 2005.
- SCHROEDER, R. G.; FLYNN, B. B. **High performance manufacturing**: global perspectives. Danvers: John Wiley & Sons, 2002.
- SETHI, V. K.; AGRAWAL, V. P. Hierarchical classification of kinematic chains: a multigraph approach. **Mechanism and Machine Theory**, v. 28, n. 4, p. 601-614, 1993.
- SEYEDHOSSEINI, S. M. *et al.* Extracting leanness criteria by employing the concept of Balanced Scorecard. **Expert Systems with Applications**, v. 38, p. 10454-10461, 2011.
- SEZEN, B.; KARAKADILAR, I. S.; BUYUKOZKAN, G. Proposition of a model for measuring adherence to lean practices: applied to Turkish automotive part suppliers. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 14, p. 3878-3894, 2012.
- SHAH, R.; WARD, P. T. Defining and developing measures of lean production. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 4, p. 785-805, 2007.
- SHAH, R.; WARD, P. T. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. **Journal of Operations Management**, v. 21, n. 2, p. 129-149, 2003.
- SHETTY, D.; ALI, A.; CUMMINGS, R. Survey-based spreadsheet model on lean implementation. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 4, p. 310-334, 2010.
- SHIEH, J.; WU, H.; HUANG, K. A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. **Knowledge-Based Systems**, v. 23, n. 3, p. 277-282, 2010.
- SHINGO, S. **Sistema de troca rápida de ferramenta**: uma revolução nos sistemas produtivos. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- SINGH, B.; GARG, S. K.; SHARMA, S. K. Development of index for measuring leanness: study of an Indian auto component industry. **Measuring Business Excellence**, v. 14, n. 2, p. 46-53, 2010.
- SLACK, N. The importance-performance matrix as a determinant of improvement priority. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 5, p. 59-75, 1994.

- SOLIMAN, A.; GADALLA, M. A. Measuring and Tracking of Lean Manufacturing Transformation. In: **International Manufacturing Science and Engineering Conference**, 1, 2014, Detroit. Michigan: ASME, 2014.
- SORIANO-MEIER, H.; FORRESTER, P. L. A model for evaluating the degree of leanness of manufacturing firms. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 13, n. 2, p. 104-109, 2002.
- SRINIVASARAGHAVAN, J.; ALLADA, V. Application of Mahalanobis distance as a lean assessment metric. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 29, n. 11, p. 1159-68, 2006.
- SUGIMORI, Y. *et al.* Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. **The International Journal of Production Research**, v. 15, n. 6, p. 553-564, 1977.
- SUSILAWATI, A. *et al.* Fuzzy logic based method to measure degree of lean activity in manufacturing industry. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 34, p. 1-11, 2015.
- TAJ, S. Applying lean assessment tools in Chinese hi-tech industries. **Management Decision**, v. 43, n. 4, p. 628-643, 2005.
- TAJ, S. Lean manufacturing performance in China: assessment of 65 manufacturing plants. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 19, n. 2, p. 217-234, 2008.
- TAJ, S.; MOROSAN, C. The impact of lean operations on the Chinese manufacturing performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 22, n. 2, p. 223-240, 2011.
- THANKI, S. J.; THAKKAR, J. Status of lean manufacturing practices in Indian industries and government initiatives: a pilot study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 25, n. 5, p. 655-675, 2014.
- TREVILLE, S.; ANTONAKIS, J. Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational, and levels-of-analysis issues. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 2, p. 99-123, 2006.
- TSENG, M. A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 4, p. 7738-7748, 2009.
- VILAR, F. M. M. **Um método para a avaliação do grau de implementação da produção enxuta: aplicação em uma empresa do setor calçadista paraibano**. 2014. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- VIMAL, K. E. K.; VINODH, S. Application of artificial neural network for fuzzy logic based leanness assessment. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 24, n. 2, p. 274-292, 2013.
- VIMAL, K. E. K.; VINODH, S. Leanness evaluation using IF-THEN rules. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 63, n. 1-4, p. 407-413, 2012.
- VINODH, S.; ARAVINDRAJ, S. Evaluation of leagility in supply chains using fuzzy logic approach. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 4, p. 1186-1195, 2013.
- VINODH, S.; BALAJI, S. R. Fuzzy logic based leanness assessment and its decision support system. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 13, p. 4027-4041, 2011.

- VINODH, S.; CHINTHA, S. K. Leanness assessment using multi-grade fuzzy approach. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 2, p. 431-445, 2011.
- VINODH, S.; KUMAR, C. D. Development of computerized decision support system for leanness assessment using multi grade fuzzy approach. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 23, n. 4, p. 503-516, 2012.
- VINODH, S.; PRAKASH, N. H.; SELVAN, K. E. Evaluation of leanness using fuzzy association rules mining. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 57, n. 1-4, p. 343-352, 2011.
- VINODH, S.; VIMAL, K. E. K. Thirty criteria based leanness assessment using fuzzy logic approach. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 60, n. 9-12, p. 1185-1195, 2012.
- WALTER, O. M. F. C.; TUBINO, D. F. Métodos de avaliação da implantação da manufatura enxuta: uma revisão da literatura e classificação. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 1, p. 23-45, 2013.
- WAN, H. D.; CHEN, F. F. A leanness measure of manufacturing systems for quantifying impacts of lean initiatives. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 23, p. 6567-6584, 2008.
- WAN, H. D.; CHEN, F. F. Decision support for lean practitioners: a web-based adaptive assessment approach. **Computers in Industry**, v. 60, n. 4, p. 277-283, 2009.
- WITTENBERG, G. Kaizen - The many ways of getting better. **Assembly Automation**, v. 14, n. 4, p. 12-17, 1994.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. **Harvard Business Review**, v. 74, n. 5, p. 140, 1996.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changed the world**. New York: Rawson Associates, 1990.
- WONG, W. P.; IGNATIUS, J.; SOH, K. L. What is the leanness level of your organisation in lean transformation implementation? An integrated lean index using ANP approach. **Production Planning & Control**, v. 25, n. 4, p. 273-287, 2012.
- WONG, W. P.; WONG, K. Y. Synergizing an ecosphere of lean for sustainable operations. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 51-66, 2014.
- WRIGHT, J. T.C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 1, n. 12, p. 54-65, 2000.
- WU, W. Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach. **Expert Systems with Applications**, v. 35, n. 3, p. 828-835, 2008.
- WU, W. W.; LEE, Y.T. Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. **Expert Systems with Applications**, v. 32, n. 2, p. 499-507, 2007.
- ZAREI, M.; FAKHRZAD, M. B.; PAGHALEH, M. J. Food supply chain leanness using a developed QFD model. **Journal of Food Engineering**, v. 102, n. 1, p. 25-33, 2011.
- ZHOU, B. Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs). **Annals of Operations Research**, p. 1-18, 2012.
- ZHOU, Q.; HUANG, W.; ZHANG, Y. Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method. **Safety Science**, v. 49, n. 2, p. 243-252, 2011.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA

Para responder às questões sobre o desempenho das práticas abordadas na entrevista, será utilizada a seguinte escala:

Variável linguística de desempenho	Abreviação
Não existente, mas necessário	NE
Extremamente baixo	EB
Muito baixo	MB
Baixo	B
Razoavelmente baixo	RB
Médio	M
Razoavelmente alto	RA
Alto	A
Muito alto	MA
Extremamente alto	EA

DESCRIÇÃO DO ENTREVISTADO E DA EMPRESA EM ANÁLISE

Dados do entrevistado

- Nome:
- Tempo na empresa:
- Cargo:
- Tempo no cargo:

Caracterização da empresa

- Tempo da empresa no mercado:
- Número de funcionários:
- Ramo de atuação:
- Tempo de implantação da Produção Enxuta na unidade fabril:
- Organograma:

1.3 Nivelamento da produção (*Heijunka*)

9) Os lotes de produção possuem tamanhos reduzidos para proporcionar o nivelamento da produção?

10) Existe uma programação nivelada de produção pelo sequenciamento de ordens de produção em um padrão repetitivo de *mix* e volume? Qual o horizonte do período (semanal, mensal, bimestral, trimestral)?

11) Existem variações grandes e rápidas (por exemplo, por meio da introdução de pedidos emergenciais) no *mix* de modelos e volumes de produção ou existe uma estabilidade maior na programação de produção?

Como você avalia o desempenho da prática ‘Nivelamento da produção (*Heijunka*)’?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

1.4 Integração com fornecedores

12) Os fornecedores-chave fazem entregas em pequenos lotes e com grande frequência?

13) Os fornecedores-chave adotam técnicas que asseguram a qualidade de seus produtos, dispensando inspeções de qualidade no momento do recebimento?

14) São feitos relacionamentos de longo prazo com os fornecedores?

15) A empresa possui um grande número de fornecedores para cada componente?

16) Existe troca diária de informações com os fornecedores sobre demanda e programação de produção?

Como você avalia o desempenho da prática ‘Integração com fornecedores’?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

2. GESTÃO DE PROCESSOS

2.1 Padronização das operações

17) Existem folhas de operação-padrão (folhas de operação-padrão são documentos que apresentam a quantidade máxima permitida de material em processamento, pontos de inspeção de qualidade, *takt time*, tempo de ciclo e *layout* da célula ou linha)?

18) As folhas de operação-padrão apresentam a quantidade de material em processamento, tempo de ciclo e procedimento padrão?

19) As folhas de operação-padrão são periodicamente revisadas e comunicadas aos usuários? Estimar a periodicidade.

20) Os padrões estão em locais de fácil acesso a todos, permitindo sua consulta de forma rápida e clara?

Como você avalia o desempenho da prática 'Padronização das operações'?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

2.2 Trabalhadores multifuncionais

21) Os operadores têm oportunidade de exercitar suas habilidades multifuncionais?

22) Qual a frequência em que ocorre rotação entre postos de trabalho?

23) O operador é capaz de operar diversas máquinas?

24) Essa rotatividade de atividades ocorre em todas as linhas da prensa, funilaria, pintura e montagem?

Como você avalia o desempenho da prática 'Trabalhadores multifuncionais'?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

2.3 Sincronização pelo *takt time*

25) O *takt time* é conhecido e a produção é baseada por ele (*takt time* é o tempo total disponível por dia dividido pela demanda diária)?

26) Os tempos de ciclo em cada posto de trabalho são menores que o *takt time*?

27) As linhas de produção são balanceadas considerando o *takt time*?

28) O *takt time* é reprogramado periodicamente?

Como você avalia o desempenho da prática 'Sincronização pelo *takt time*'?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

2.4 Layout celular

3. TOTAL QUALITY MANAGEMENT

3.1 Controle Estatístico do Processo (CEP)

40) O processo é monitorado utilizando o CEP?

41) São utilizadas técnicas estatísticas para analisar a variabilidade do processo (C_p , C_{pk})?

42) São tomadas decisões baseadas nos indicadores apresentados pelo CEP ao longo do processo?

Como você avalia o desempenho da prática 'Controle Estatístico do Processo'?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

3.2 Uso de ferramentas da qualidade

43) Os grupos de melhoria contínua utilizam ferramentas estruturadas para análise e solução de problemas, tais como 8D, FMEA, 5W2H, diagrama de Ishikawa ou *brainstorming*?

44) Há identificação e combate às causas raízes de defeitos (causas raízes são os problemas que deram início ao encadeamento de acontecimentos que gerou o defeito)?

Como você avalia o desempenho da prática 'Uso de ferramentas da qualidade'?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

3.3 Poka yoke

45) As máquinas são dotadas de dispositivos que detectam anormalidades, tais como peças defeituosas ou quebras?

46) São frequentes as combinações de *poka-yoke* + inspeção na fonte + ação imediata?

Como você avalia o desempenho da prática 'Poka yoke'?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

3.4 Automação (*Jidoka*)

47) Os funcionários têm autonomia de paralisar a linha, parcial ou totalmente, bem como solicitar ajuda quando alguma anormalidade é detectada?

48) As máquinas param automaticamente quando alguma anormalidade é detectada?

Como você avalia o desempenho da prática ‘Automação (*Jidoka*)’?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

3.5 5S

49) A separação dos materiais necessários dos desnecessários para o local de trabalho é realizada frequentemente?

50) A realização de limpeza do equipamento e posto de trabalho faz parte da atividade diária do funcionário?

51) Todos os materiais, ferramentas e produtos em processo possuem seus lugares definidos dentro do departamento? Os funcionários possuem a cultura de colocar os materiais de trabalho no local correto?

Como você avalia o desempenho da prática ‘5S’?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

3.6 Gestão visual

52) Há painéis sinalizadores para indicar os postos paralisados ou que necessitam de auxílio?

53) O fluxo dos processos é visível e compreensível do início ao fim?

54) Existem, bem disseminados, sinais visuais tais como quadros com indicadores de produção, placas de segurança, faixas para demarcar locais de estoque, descarregamento, etc.?

Como você avalia o desempenho da prática ‘Gestão visual’?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

4. FATORES HUMANOS

4.1 Compartilhamento de informações

55) Os indicadores de produção (principalmente) e os resultados são amplamente divulgados aos operadores?

56) As metas da empresa estão claramente definidas e são comunicadas a todos na organização?

57) Existe *feedback* da gestão sobre as sugestões dos funcionários?

Como você avalia o desempenho da prática ‘Compartilhamento de informações’?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

4.2 Comprometimento da liderança e alta gerência

58) A alta gerência está envolvida diretamente com os programas de melhoria (JIT, Qualidade, WCM, etc.)?

59) Os gestores estão sempre próximos do processo para auxiliar quando houver algum problema na linha de produção?

Como você avalia o desempenho da prática ‘Comprometimento da liderança e alta gerência’?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

4.3 Treinamentos *lean*

60) Os funcionários são treinados para executarem práticas *lean* (TPM, 5S, Multifuncionalidade, Resolução de problemas, etc.) e identificar atividade que não agregam valor?

61) Todos os membros da organização são treinados para terem conhecimento da filosofia, princípios e práticas básicas da produção enxuta?

62) Existe uma frequência de treinamentos a qual os funcionários são submetidos?

Como você avalia o desempenho da prática ‘Treinamentos *lean*’?

NE	EB	MB	B	RB	M	RA	A	MA	EA

4.4 APGs

63) Existem atividades em pequenos grupos (APG) frequentemente? Quais os principais assuntos tratados nas APG?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE APLICAÇÃO DO *DELPHI*

Este questionário consiste na aplicação da técnica *Delphi* com especialistas sobre o tema Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*). Considera-se como especialista o pesquisador acadêmico que concentra seus estudos sobre o tema apresentado. O objetivo do questionário é avaliar 2 possibilidades:

- 1) Analisar a existência de potencial relação de influência de uma prática enxuta sobre outra (como também sua recíproca);
- 2) Se existe relação de influência, determinar qual o grau que ela possui.

✓ Os especialistas são os mais indicados para preencher o questionário, pois possuem embasamento teórico-científico para atribuir os valores de influência de uma prática sobre a outra;

✓ O especialista deverá basear suas respostas de acordo com o Quadro abaixo, que apresenta as escalas das variáveis linguísticas para cada relacionamento;

Variáveis linguísticas das relações	Abreviação
Sem influência	No
Influência muito baixa	IMB
Baixa influência	BI
Influência média	IM
Alta influência	AI
Influência muito alta	IMA

✓ É importante ressaltar que a relação de influência entre duas práticas pode ser diferente conforme o sentido da relação. Por exemplo, a prática Equipe Multifuncional pode exercer "Alta influência" sobre a prática Treinamentos Lean, enquanto que Treinamentos Lean pode exercer "Influência muito alta" sobre Equipe Multifuncional;

✓ O questionário é composto por 5 matrizes (FATORES HUMANOS, *JUST-IN-TIME*, *TOTAL QUALITY MANAGEMENT*, GESTÃO DE PROCESSOS e *BUNDLES*). Cada matriz é composta por um conjunto de práticas enxutas, no total de 20 práticas.

✓ Para facilitar o entendimento dos especialistas quanto ao conceito de cada um dos elementos estudados, está disponível na aba 'Definições Práticas' as definições sobre cada prática considerada neste estudo.

DADOS DO ESPECIALISTA

- Nome:
- Instituição a qual é vinculado:
- Tempo de pesquisa sobre Produção Enxuta:

JUST-IN-TIME	Redução do tempo de <i>setup</i>	Sistema <i>kanban</i>	Nivelamento da produção	Integração com fornecedores
Redução do tempo de <i>setup</i>	0			
Sistema <i>kanban</i>		0		
Nivelamento da produção			0	
Integração com fornecedores				0

GESTÃO DE PROCESSOS	Padronização das operações	Trabalhadores multifuncionais	Sincronização pelo <i>takt time</i>	<i>Layout</i> celular	Manutenção Produtiva Total	Mapeamento do Fluxo de Valor
Padronização das operações	0					
Trabalhadores multifuncionais		0				
Sincronização pelo <i>takt time</i>			0			
<i>Layout</i> celular				0		
Manutenção Produtiva Total					0	
Mapeamento do Fluxo de Valor						0

TOTAL QUALITY MANAGEMENT	Controle Estatístico do Processo	Uso de ferramentas da qualidade	<i>Poka Yoke</i>	Autonomação (<i>Jidoka</i>)	5S	Gestão visual
Controle Estatístico do Processo	0					
Uso de ferramentas da qualidade		0				
<i>Poka Yoke</i>			0			

Automação (<i>Jidoka</i>)				0		
5S					0	
Gestão visual						0

FATORES HUMANOS	Compartilhamento de informações	Comprometimento da liderança e alta gestão	Treinamentos <i>lean</i>	Atividades de Pequenos Grupos (APGs)
Compartilhamento de informações	0			
Comprometimento da liderança e alta gestão		0		
Treinamentos <i>lean</i>			0	
Atividades de Pequenos Grupos (APGs)				0

BUNDLES	<i>Just-in-time</i>	Gestão de Processos	<i>Total Quality Management</i>	Fatores Humanos
<i>Just-in-time</i>	0			
Gestão de Processos		0		
<i>Total Quality Management</i>			0	
Fatores Humanos				0

APÊNDICE C – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO *DELPHI* POR RODADA

As abreviações das variáveis linguísticas de relação estão conforme o Quadro 13 na seção 3.2.

Quadro 26 - Evolução das avaliações e convergências das relações

Fator	Relação	1ª rodada		2ª rodada		3ª rodada	
		Variável mais frequente	Convergência (%)	Variável mais frequente	Convergência (%)	Variável mais frequente	Convergência (%)
Global (entre fatores)	a ₁₂ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	80	IA ou IMA	86
	a ₁₃ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	70	IA ou IMA	86
	a ₁₄ ^{GLOBAL}	IM	64	IM	60	IM	100
	a ₂₁ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	80	IA ou IMA	100
	a ₂₃ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	73	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
	a ₂₄ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
	a ₃₁ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	64	IA ou IMA	70	IA ou IMA	86
	a ₃₂ ^{GLOBAL}	IM	55	IM	60	IM	86
	a ₃₄ ^{GLOBAL}	IM	45	IM	70	IM	100
	a ₄₁ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
	a ₄₂ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
	a ₄₃ ^{GLOBAL}	IA ou IMA	91	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
Just-in-time	a ₁₂ ^{JIT}	IA ou IMA	64	IA ou IMA	80	IA ou IMA	86
	a ₁₃ ^{JIT}	IA ou IMA	64	IA ou IMA	80	IA ou IMA	86
	a ₁₄ ^{JIT}	No	55	No	80	No	100
	a ₂₁ ^{JIT}	IMB ou IB	55	IMB ou IB	80	IMB ou IB	100
	a ₂₃ ^{JIT}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
	a ₂₄ ^{JIT}	IM	45	IM	80	IM	71
	a ₃₁ ^{JIT}	IMB ou IB	36	IMB ou IB	70	IMB ou IB	86
	a ₃₂ ^{JIT}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	80	IA ou IMA	86
	a ₃₄ ^{JIT}	IA ou IMA	36	IA ou IMA	50	IA ou IMA	71
	a ₄₁ ^{JIT}	IMB ou IB	36	IMB ou IB	70	IMB ou IB	86
	a ₄₂ ^{JIT}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	70	IA ou IMA	86
	a ₄₃ ^{JIT}	IA ou IMA	36	IA ou IMA	50	IA ou IMA	86
Gestão de Processos	a ₁₂ ^{GP}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	90	IA ou IMA	86
	a ₁₃ ^{GP}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	90	IA ou IMA	100
	a ₁₄ ^{GP}	IA ou IMA	64	IA ou IMA	70	IA ou IMA	71
	a ₁₅ ^{GP}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	70	IA ou IMA	86

Fator	Relação	1ª rodada		2ª rodada		3ª rodada	
		Variável mais frequente	Convergência (%)	Variável mais frequente	Convergência (%)	Variável mais frequente	Convergência (%)
	a_{16}^{GP}	IMB ou IB	55	IMB ou IB	70	IMB ou IB	100
	a_{21}^{GP}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	60	IA ou IMA	57
	a_{23}^{GP}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	70	IA ou IMA	86
	a_{24}^{GP}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	90	IA ou IMA	100
	a_{25}^{GP}	IM	45	IM	60	IM	86
	a_{26}^{GP}	IMB ou IB	45	IMB ou IB	90	IMB ou IB	86
	a_{31}^{GP}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	60	IA ou IMA	71
	a_{32}^{GP}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	70	IA ou IMA	71
	a_{34}^{GP}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	40	IA ou IMA	57
	a_{35}^{GP}	IMB ou IB	36	IMB ou IB	70	IMB ou IB	100
	a_{36}^{GP}	No	36	No	50	No	100
	a_{41}^{GP}	IM	36	IM	70	IM	86
	a_{42}^{GP}	IA ou IMA	64	IA ou IMA	80	IA ou IMA	100
	a_{43}^{GP}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	60	IA ou IMA	86
	a_{44}^{GP}	IMB ou IB	45	IMB ou IB	90	IMB ou IB	100
	a_{45}^{GP}	IMB ou IB	45	IMB ou IB	80	IMB ou IB	86
	a_{51}^{GP}	IM	36	IM	40	IM	71
	a_{52}^{GP}	IM	36	IM	60	IM	71
	a_{53}^{GP}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	60	IA ou IMA	71
	a_{54}^{GP}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	60	IA ou IMA	71
	a_{56}^{GP}	IMB ou IB	55	IMB ou IB	80	IMB ou IB	86
	a_{61}^{GP}	IA ou IMA	36	IA ou IMA	80	IA ou IMA	71
	a_{62}^{GP}	IM	36	IM	70	IM	100
	a_{63}^{GP}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	60	IA ou IMA	71
	a_{64}^{GP}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	60	IA ou IMA	71
	a_{65}^{GP}	IMB ou IB	45	IMB ou IB	60	IMB ou IB	100
Total Quality Management	a_{12}^{TQM}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	70	IA ou IMA	86
	a_{13}^{TQM}	IMB ou IB	45	IMB ou IB	70	IMB ou IB	71
	a_{14}^{TQM}	IM	36	IM	60	IM	71
	a_{15}^{TQM}	IMB ou IB	64	IMB ou IB	70	IMB ou IB	86
	a_{16}^{TQM}	IMB ou IB	36	IMB ou IB	50	IMB ou IB	86
	a_{21}^{TQM}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	80	IA ou IMA	86

Fator	Relação	1ª rodada		2ª rodada		3ª rodada	
		Variável mais frequente	Convergência (%)	Variável mais frequente	Convergência (%)	Variável mais frequente	Convergência (%)
	a_{23}^{TQM}	IM	36	IM	60	IM	86
	a_{24}^{TQM}	IM	36	IM	50	IM	86
	a_{25}^{TQM}	IMB ou IB	55	IMB ou IB	70	IMB ou IB	86
	a_{26}^{TQM}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	80	IA ou IMA	100
	a_{31}^{TQM}	IM	27	IM	60	IM	57
	a_{32}^{TQM}	IM	64	IM	90	IM	100
	a_{34}^{TQM}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	90	IA ou IMA	100
	a_{35}^{TQM}	IMB ou IB	64	IMB ou IB	100	IMB ou IB	100
	a_{36}^{TQM}	IM	27	IM	60	IM	86
	a_{41}^{TQM}	IMB ou IB	27	IMB ou IB	60	IMB ou IB	71
	a_{42}^{TQM}	IM	36	IM	70	IM	100
	a_{43}^{TQM}	IA ou IMA	73	IA ou IMA	80	IA ou IMA	100
	a_{45}^{TQM}	IM	55	IM	70	IM	57
	a_{46}^{TQM}	IMB ou IB	27	IMB ou IB	60	IMB ou IB	86
	a_{51}^{TQM}	IMB ou IB	45	IMB ou IB	70	IMB ou IB	86
	a_{52}^{TQM}	IMB ou IB	36	IMB ou IB	70	IMB ou IB	86
	a_{53}^{TQM}	IM	73	IM	90	IM	86
	a_{54}^{TQM}	IMB ou IB	36	IMB ou IB	60	IMB ou IB	71
	a_{56}^{TQM}	IA ou IMA	91	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
	a_{61}^{TQM}	IM	36	IM	50	IM	71
	a_{62}^{TQM}	IMB ou IB	55	IMB ou IB	80	IMB ou IB	86
	a_{63}^{TQM}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	70	IA ou IMA	71
	a_{64}^{TQM}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	80	IA ou IMA	86
	a_{65}^{TQM}	IA ou IMA	91	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
Fatores Humanos	a_{12}^{FH}	IM	36	IM	80	IM	100
	a_{13}^{FH}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	80	IA ou IMA	86
	a_{14}^{FH}	IA ou IMA	73	IA ou IMA	90	IA ou IMA	100
	a_{21}^{FH}	IA ou IMA	91	IA ou IMA	90	IA ou IMA	100
	a_{23}^{FH}	IA ou IMA	91	IA ou IMA	90	IA ou IMA	100
	a_{24}^{FH}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	100	IA ou IMA	100
	a_{31}^{FH}	IM	55	IM	50	IM	86
	a_{32}^{FH}	IA ou IMA	55	IA ou IMA	80	IA ou IMA	86

Fator	Relação	1ª rodada		2ª rodada		3ª rodada	
		Variável mais frequente	Convergência (%)	Variável mais frequente	Convergência (%)	Variável mais frequente	Convergência (%)
	a_{34}^{FH}	IA ou IMA	82	IA ou IMA	90	IA ou IMA	100
	a_{41}^{FH}	IA ou IMA	45	IA ou IMA	70	IA ou IMA	86
	a_{42}^{FH}	IM	45	IM	60	IM	71
	a_{43}^{FH}	IM	36	IM	70	IM	71
Convergência total		-	53	-	74	-	87

Fonte: Elaborado pelo autor.

EXEMPLOS DE LEGENDA:

a_{12}^{GLOBAL} = Influência do fator 1 (*Just-in-time*) no fator 2 (Gestão de Processos) do fator GLOBAL;

a_{21}^{GLOBAL} = Influência do fator 2 (Gestão de Processos) no fator 1 (*Just-in-time*) do fator GLOBAL;

a_{12}^{JIT} = Influência do subfator 1 (Redução do tempo de *setup*) no subfator 2 (Sistema *kanban*) do fator JIT;

a_{21}^{JIT} = Influência do subfator 2 (Sistema *kanban*) no subfator 1 (Redução do tempo de *setup*) do fator JIT;

a_{12}^{GP} = Influência do subfator 1 (Padronização das operações) no subfator 2 (Trabalhadores multifuncionais) do fator GP;

a_{21}^{GP} = Influência do subfator 2 (Trabalhadores multifuncionais) no subfator 1 (Padronização das operações) do fator GP;

a_{12}^{TQM} = Influência do subfator 1 (CEP) no subfator 2 (Uso de ferramentas da qualidade) do fator TQM;

a_{21}^{TQM} = Influência do subfator 2 (Uso de ferramentas da qualidade) no subfator 1 (CEP) do fator TQM;

a_{12}^{FH} = Influência do subfator 1 (Compartilhamento de informações) no subfator 2 (Comprometimento da liderança e alta gestão) do fator FH;

a_{12}^{FH} = Influência do subfator 2 (Comprometimento da liderança e alta gestão) no subfator 1 (Compartilhamento de informações) do fator FH.

APÊNDICE D – AVALIAÇÕES DOS ESPECIALISTAS

Quadro 27 - Avaliações definitivas dos especialistas

Avaliador	Variável linguística de relações
Especialista 1 (E1)	$JIT = \begin{bmatrix} - & IMA & IMA & No \\ IMB & - & IMA & No \\ IMB & IA & - & IM \\ IMB & IMA & IA & - \end{bmatrix} \quad GP = \begin{bmatrix} - & IMA & IMA & IMA & IM & IMB \\ IM & - & IA & IMA & IM & IMB \\ IA & IB & - & IMB & IMB & No \\ IB & IA & IM & - & IB & IMB \\ IB & IMB & IA & No & - & IMB \\ IA & IM & IA & IMA & IB & - \end{bmatrix}$ $TQM = \begin{bmatrix} - & IA & No & No & No & No \\ IMA & - & IM & IM & IB & IA \\ No & IM & - & IMA & IB & IM \\ No & IM & IMA & - & IM & IB \\ No & IMB & IM & IMB & - & IMA \\ No & IMB & IA & IA & IMA & - \end{bmatrix} \quad FH = \begin{bmatrix} - & IM & IA & IA \\ IMA & - & IMA & IA \\ IM & IA & - & IMA \\ IMA & IMB & IB & - \end{bmatrix}$ $GLOBAL = \begin{bmatrix} - & IA & IA & IM \\ IMA & - & IA & IA \\ IMA & IM & - & IM \\ IA & IMA & IMA & - \end{bmatrix}$
Especialista 2 (E2)	$JIT = \begin{bmatrix} - & IA & IA & No \\ IMB & - & IA & IM \\ IB & IM & - & IA \\ IB & IB & IM & - \end{bmatrix} \quad GP = \begin{bmatrix} - & IA & IA & IA & IA & IB \\ IA & - & IA & IA & IM & IB \\ IA & IA & - & IA & IB & No \\ IM & IA & IA & - & IB & IMB \\ IM & IM & IA & IA & - & IB \\ IA & IM & IA & IA & IB & - \end{bmatrix}$ $TQM = \begin{bmatrix} - & IA & IMB & IM & IMB & IMB \\ IA & - & IM & IM & IMB & IA \\ IM & IM & - & IA & IMB & IM \\ IMB & IM & IA & - & IM & IB \\ IMB & IMB & IM & IMB & - & IA \\ IM & IMB & IA & IA & IA & - \end{bmatrix} \quad FH = \begin{bmatrix} - & IM & IA & IA \\ IMA & - & IA & IA \\ IM & IA & - & IA \\ IA & IM & IM & - \end{bmatrix}$ $GLOBAL = \begin{bmatrix} - & IA & IA & IM \\ IA & - & IA & IA \\ IA & IM & - & IM \\ IA & IMA & IA & - \end{bmatrix}$

Avaliador	Variável linguística de relações
Especialista 3 (E3)	$JIT = \begin{bmatrix} - & IA & IA & No \\ IB & - & IA & IM \\ IMB & IA & - & IA \\ IMB & IA & IA & - \end{bmatrix} \quad GP = \begin{bmatrix} - & IA & IA & IMB & IA & IB \\ IA & - & IMA & IA & IM & IB \\ IMA & IA & - & No & IMB & No \\ IM & IA & IA & - & IMB & IMB \\ IM & IM & IA & No & - & IMB \\ IMA & IM & IMA & IMA & IB & - \end{bmatrix}$ $TQM = \begin{bmatrix} - & IA & IMB & IM & IMB & IB \\ IA & - & IM & IM & IB & IA \\ IM & IM & - & IMA & IMB & IM \\ IMB & IM & IA & - & IM & IMB \\ IMB & IB & IM & IB & - & IA \\ IM & IB & IA & IA & IMA & - \end{bmatrix} \quad FH = \begin{bmatrix} - & IM & IA & IA \\ IMA & - & IMA & IMA \\ IM & IMA & - & IMA \\ IA & IM & IM & - \end{bmatrix}$ $GLOBAL = \begin{bmatrix} - & IMA & IMA & IM \\ IMA & - & IA & IA \\ IA & IM & - & IM \\ IMA & IMA & IMA & - \end{bmatrix}$
Especialista 4 (E4)	$JIT = \begin{bmatrix} - & IM & IM & No \\ IB & - & IA & IM \\ IB & IA & - & IA \\ IB & IA & IA & - \end{bmatrix} \quad GP = \begin{bmatrix} - & IM & IA & IM & IA & IMB \\ IB & - & IM & IMA & IM & IB \\ IMB & IMB & - & IM & IB & No \\ IM & IA & IA & - & IMB & IMB \\ IM & IM & IB & No & - & IMB \\ IM & IM & IMB & IMB & IB & - \end{bmatrix}$ $TQM = \begin{bmatrix} - & IA & IMB & IMB & IB & IB \\ IA & - & IB & IB & IA & IA \\ IA & IM & - & IA & IB & IB \\ IB & IM & IA & - & No & IMB \\ IB & IB & IM & IMB & - & IA \\ IM & IB & IB & IB & IA & - \end{bmatrix} \quad FH = \begin{bmatrix} - & IM & IA & IMA \\ IMA & - & IA & IA \\ IM & IM & - & IA \\ IM & No & IM & - \end{bmatrix}$ $GLOBAL = \begin{bmatrix} - & IMA & IM & IM \\ IMA & - & IMA & IA \\ IM & IM & - & IM \\ IMA & IMA & IMA & - \end{bmatrix}$
Especialista 5 (E5)	$JIT = \begin{bmatrix} - & IA & IMA & No \\ IB & - & IMA & IM \\ IB & IA & - & IA \\ IB & IA & IA & - \end{bmatrix} \quad GP = \begin{bmatrix} - & IMA & IMA & IMA & IA & IB \\ IA & - & IA & IMA & IM & IB \\ IA & IA & - & IA & IB & No \\ IM & IA & IMA & - & IB & IB \\ IM & IM & IA & IA & - & IB \\ IMA & IM & IMA & IMA & IB & - \end{bmatrix}$ $TQM = \begin{bmatrix} - & IMA & IB & IM & IB & IB \\ IMA & - & IM & IM & IB & IA \\ IM & IM & - & IA & IB & IM \\ IB & IM & IA & - & IM & IB \\ IB & IB & IM & IM & - & IMA \\ IM & IB & IA & IMA & IMA & - \end{bmatrix} \quad FH = \begin{bmatrix} - & IM & IA & IMA \\ IMA & - & IMA & IA \\ IM & IA & - & IMA \\ IA & IM & IM & - \end{bmatrix}$ $GLOBAL = \begin{bmatrix} - & IMA & IA & IM \\ IMA & - & IMA & IMA \\ IA & IM & - & IM \\ IMA & IMA & IMA & - \end{bmatrix}$

Avaliador	Variável linguística de relações
Especialista 6 (E6)	$\text{JIT} = \begin{bmatrix} - & \text{IMA} & \text{IMA} & \text{No} \\ \text{IB} & - & \text{IA} & \text{IA} \\ \text{IM} & \text{IMA} & - & \text{IM} \\ \text{No} & \text{IA} & \text{IA} & - \end{bmatrix} \quad \text{GP} = \begin{bmatrix} - & \text{IA} & \text{IMA} & \text{IA} & \text{IA} & \text{IB} \\ \text{IM} & - & \text{IA} & \text{IA} & \text{IA} & \text{No} \\ \text{IM} & \text{IA} & - & \text{IMA} & \text{IB} & \text{No} \\ \text{IM} & \text{IA} & \text{IA} & - & \text{IB} & \text{No} \\ \text{IA} & \text{IM} & \text{IA} & \text{IA} & - & \text{No} \\ \text{IB} & \text{IM} & \text{IM} & \text{IM} & \text{IB} & - \end{bmatrix}$ $\text{TQM} = \begin{bmatrix} - & \text{IM} & \text{IM} & \text{IM} & \text{IB} & \text{IB} \\ \text{IB} & - & \text{IM} & \text{IM} & \text{IB} & \text{IA} \\ \text{No} & \text{IM} & - & \text{IMA} & \text{IB} & \text{IM} \\ \text{No} & \text{IM} & \text{IMA} & - & \text{IB} & \text{IM} \\ \text{IMB} & \text{IA} & \text{IM} & \text{IM} & - & \text{IA} \\ \text{IB} & \text{IM} & \text{IM} & \text{IA} & \text{IA} & - \end{bmatrix} \quad \text{FH} = \begin{bmatrix} - & \text{IM} & \text{IM} & \text{IA} \\ \text{IA} & - & \text{IA} & \text{IA} \\ \text{IM} & \text{IMA} & - & \text{IMA} \\ \text{IA} & \text{IM} & \text{IB} & - \end{bmatrix}$ $\text{GLOBAL} = \begin{bmatrix} - & \text{IM} & \text{IA} & \text{IM} \\ \text{IA} & - & \text{IA} & \text{IA} \\ \text{IMA} & \text{IA} & - & \text{IM} \\ \text{IA} & \text{IA} & \text{IMA} & - \end{bmatrix}$
Especialista 7 (E7)	$\text{JIT} = \begin{bmatrix} - & \text{IMA} & \text{IA} & \text{No} \\ \text{IB} & - & \text{IMA} & \text{IA} \\ \text{IB} & \text{IA} & - & \text{IA} \\ \text{IMB} & \text{IA} & \text{IA} & - \end{bmatrix} \quad \text{GP} = \begin{bmatrix} - & \text{IA} & \text{IA} & \text{IA} & \text{IA} & \text{IB} \\ \text{IA} & - & \text{IA} & \text{IA} & \text{IM} & \text{IB} \\ \text{IMA} & \text{IA} & - & \text{IA} & \text{IB} & \text{No} \\ \text{IM} & \text{IA} & \text{IMA} & - & \text{IB} & \text{IB} \\ \text{IM} & \text{IB} & \text{IA} & \text{IA} & - & \text{IMB} \\ \text{IA} & \text{IM} & \text{IA} & \text{IA} & \text{IMB} & - \end{bmatrix}$ $\text{TQM} = \begin{bmatrix} - & \text{IMA} & \text{IB} & \text{IM} & \text{IMB} & \text{IMB} \\ \text{IA} & - & \text{IM} & \text{IM} & \text{IB} & \text{IA} \\ \text{IM} & \text{IM} & - & \text{IA} & \text{IMB} & \text{IM} \\ \text{IB} & \text{IM} & \text{IA} & - & \text{IB} & \text{IMB} \\ \text{IMB} & \text{IMB} & \text{IB} & \text{IMB} & - & \text{IMA} \\ \text{IM} & \text{IMB} & \text{IA} & \text{IA} & \text{IMA} & - \end{bmatrix} \quad \text{FH} = \begin{bmatrix} - & \text{IM} & \text{IA} & \text{IA} \\ \text{IMA} & - & \text{IA} & \text{IA} \\ \text{IA} & \text{IA} & - & \text{IA} \\ \text{IA} & \text{IM} & \text{IM} & - \end{bmatrix}$ $\text{GLOBAL} = \begin{bmatrix} - & \text{IMA} & \text{IA} & \text{IM} \\ \text{IMA} & - & \text{IMA} & \text{IA} \\ \text{IMA} & \text{IM} & - & \text{IM} \\ \text{IMA} & \text{IMA} & \text{IMA} & - \end{bmatrix}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE E – EXECUÇÃO DA METODOLOGIA DEMATEL

Tabela 25 - Matriz de relação direta inicial JIT

JIT	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄
S ₁₁	0,00;0,00;0,00	3,51;4,11;4,70	3;51;4,11;4,70	0,00;0,25;0,50
S ₁₂	0,94;1,79;2,64	0,00;0,00;0,00	3,64;4,24;4,83	1,93;2,69;3,46
S ₁₃	1,07;1,92;2,77	3,09;3,85;4,61	0,00;0,00;0,00	2,74;3,59;4,44
S ₁₄	0,64;1,41;2,17	2,96;3,72;4,49	2,87;3,72;4,57	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 26 - Matriz de relação direta inicial normalizada JIT

JIT	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄
S ₁₁	0,00;0,00;0,00	0,30;0,35;0,40	0,30;0,35;0,40	0,00;0,02;0,04
S ₁₂	0,08;0,15;0,22	0,00;0,00;0,00	0,31;0,36;0,41	0,16;0,23;0,29
S ₁₃	0,09;0,16;0,23	0,26;0,32;0,39	0,00;0,00;0,00	0,23;0,30;0,37
S ₁₄	0,05;0,12;0,18	0,25;0,31;0,38	0,24;0,31;0,39	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 27 - Matriz de relação total JIT

JIT	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄
S ₁₁	0,10;0,38;2,38	0,52;0,98;4,01	0,54;1,00;4,08	0,21;0,56;2,85
S ₁₂	0,16;0,52;2,76	0,27;0,74;4,06	0,52;1,03;4,42	0,33;0,72;3,25
S ₁₃	0,18;0,54;2,92	0,48;1,03;4,57	0,29;0,81;4,37	0,38;0,79;3,48
S ₁₄	0,14;0,50;2,80	0,46;0,99;4,42	0,47;1,01;4,50	0,18;0,54;3,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 28 - Matriz de relação direta inicial GP

GP	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	S ₂₄	S ₂₅	S ₂₆
S ₂₁	0,00;0,00;0,00	3,15;3,85;4,55	3,38;4,08;4,78	2,48;3,18;3,88	2,78;3,63;4,48	0,75;1,60;2,45
S ₂₂	2,33;3,18;4,03	0,00;0,00;0,00	3,15;3,85;4,55	3,75;4,30;4,85	2,10;2,95;3,80	0,98;1,83;2,68
S ₂₃	2,70;3,40;4,10	1,88;2,73;3,58	0,00;0,00;0,00	1,35;2,05;2,75	0,75;1,60;2,45	0,00;0,25;0,50
S ₂₄	1,88;2,73;3,58	3,00;3,85;4,70	2,78;3,63;4,48	0,00;0,00;0,00	0,75;1,60;2,45	0,30;1,15;2,00
S ₂₅	1,88;2,73;3,58	1,65;2,50;3,35	1,80;2,50;3,20	1,50;2,05;2,60	0,00;0,00;0,00	0,53;1,38;2,23
S ₂₆	3,15;3,85;4,55	2,10;2,95;3,80	2,70;3,40;4,10	3,08;3,63;4,18	1,20;2,05;2,90	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 29 - Matriz de relação direta inicial normalizada GP

GP	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	S ₂₄	S ₂₅	S ₂₆
S ₂₁	0,00;0,00;0,00	0,16;0,19;0,23	0,17;0,20;0,24	0,12;0,16;0,19	0,14;0,18;0,22	0,04;0,08;0,12
S ₂₂	0,12;0,16;0,20	0,00;0,00;0,00	0,16;0,19;0,23	0,19;0,21;0,24	0,10;0,15;0,19	0,05;0,09;0,13
S ₂₃	0,13;0,17;0,20	0,09;0,14;0,18	0,00;0,00;0,00	0,07;0,10;0,14	0,04;0,08;0,12	0,00;0,01;0,02
S ₂₄	0,09;0,14;0,18	0,15;0,19;0,23	0,14;0,18;0,22	0,00;0,00;0,00	0,04;0,08;0,12	0,01;0,06;0,10
S ₂₅	0,09;0,14;0,18	0,08;0,12;0,17	0,09;0,12;0,16	0,07;0,10;0,13	0,00;0,00;0,00	0,03;0,07;0,11
S ₂₆	0,16;0,19;0,23	0,10;0,15;0,19	0,13;0,17;0,20	0,15;0,18;0,21	0,06;0,10;0,14	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 30 - Matriz de relação total GP

GP	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	S ₂₄	S ₂₅	S ₂₆
S ₂₁	0,12;0,32;1,16	0,26;0,49;1,37	0,29;0,53;1,43	0,23;0,45;1,24	0,20;0,41;1,17	0,06;0,21;0,73
S ₂₂	0,22;0,46;1,32	0,12;0,33;1,18	0,28;0,52;1,42	0,28;0,49;1,27	0,17;0,38;1,14	0,07;0,22;0,74
S ₂₃	0,19;0,36;1,00	0,16;0,34;1,00	0,09;0,24;0,89	0,14;0,30;0,90	0,09;0,25;0,82	0,02;0,11;0,48
S ₂₄	0,17;0,39;1,18	0,22;0,44;1,24	0,23;0,45;1,28	0,09;0,26;0,96	0,10;0,29;0,98	0,04;0,17;0,64
S ₂₅	0,16;0,35;1,06	0,15;0,35;1,07	0,17;0,37;1,11	0,14;0,32;0,97	0,05;0,19;0,78	0,04;0,16;0,59
S ₂₆	0,26;0,49;1,34	0,22;0,46;1,33	0,26;0,51;1,40	0,26;0,47;1,25	0,14;0,35;1,11	0,03;0,14;0,62

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 31 - Matriz de relação direta inicial TQM

TQM	S ₃₁	S ₃₂	S ₃₃	S ₃₄	S ₃₅	S ₃₆
S ₃₁	0,00;0,00;0,00	3,00;3,85;4,70	0,23;0,93;1,63	1,13;1,83;2,53	0,45;1,15;1,85	0,68;1,38;2,08
S ₃₂	3,38;4,08;4,78	0,00;0,00;0,00	1,88;2,73;3,58	1,88;2,73;3,58	1,43;2,28;3,13	3,00;3,85;4,70
S ₃₃	1,80;2,50;3,20	2,10;2,95;3,80	0,00;0,00;0,00	3,75;4,30;4,85	0,75;1,60;2,45	1,88;2,73;3,58
S ₃₄	0,45;1,15;1,85	2,10;2,95;3,80	3,38;4,08;4,78	0,00;0,00;0,00	1,58;2,28;2,98	0,75;1,60;2,45
S ₃₅	0,45;1,15;1,85	0,75;1,60;2,45	2,10;2,95;3,80	0,53;1,38;2,23	0,00;0,00;0,00	3,38;4,08;4,78
S ₃₆	1,58;2,28;2,98	0,75;1,60;2,45	2,55;3,40;4,25	2,55;3,40;4,25	3,75;4,30;4,85	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 32 - Matriz de relação direta inicial normalizada TQM

TQM	S ₃₁	S ₃₂	S ₃₃	S ₃₄	S ₃₅	S ₃₆
S ₃₁	0,00;0,00;0,00	0,15;0,09;0,24	0,01;0,05;0,08	0,06;0,09;0,13	0,02;0,06;0,09	0,03;0,07;0,11
S ₃₂	0,17;0,21;0,24	0,00;0,00;0,00	0,09;0,14;0,18	0,09;0,14;0,18	0,07;0,12;0,16	0,15;0,19;0,24
S ₃₃	0,09;0,13;0,16	0,11;0,15;0,19	0,00;0,00;0,00	0,19;0,22;0,25	0,04;0,08;0,12	0,09;0,14;0,18
S ₃₄	0,02;0,06;0,09	0,11;0,15;0,19	0,17;0,21;0,24	0,00;0,00;0,00	0,08;0,12;0,15	0,04;0,08;0,12
S ₃₅	0,02;0,06;0,09	0,04;0,08;0,12	0,11;0,15;0,19	0,03;0,07;0,11	0,00;0,00;0,00	0,17;0,21;0,24
S ₃₆	0,08;0,12;0,15	0,04;0,08;0,12	0,13;0,17;0,22	0,13;0,17;0,22	0,19;0,22;0,25	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 33 - Matriz de relação total TQM

TQM	S ₃₁	S ₃₂	S ₃₃	S ₃₄	S ₃₅	S ₃₆
S ₃₁	0,05;0,15;0,60	0,18;0,33;0,87	0,06;0,22;0,79	0,10;0,26;0,80	0,06;0,21;0,70	0,08;0,24;0,79
S ₃₂	0,23;0,40;1,04	0,09;0,26;0,96	0,18;0,40;1,16	0,18;0,40;1,14	0,15;0,34;1,01	0,22;0,43;1,17
S ₃₃	0,15;0,32;0,92	0,18;0,37;1,05	0,10;0,26;0,94	0,26;0,44;1,12	0,11;0,29;0,92	0,16;0,37;1,06
S ₃₄	0,09;0,25;0,80	0,16;0,34;0,98	0,23;0,41;1,06	0,08;0,23;0,84	0,13;0,29;0,87	0,11;0,30;0,95
S ₃₅	0,07;0,23;0,77	0,09;0,27;0,89	0,17;0,35;0,99	0,10;0,28;0,91	0,06;0,19;0,72	0,22;0,38;1,00
S ₃₆	0,14;0,31;0,93	0,12;0,32;1,03	0,21;0,42;1,15	0,21;0,41;1,12	0,24;0,41;1,04	0,09;0,26;0,94

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 34 - Matriz de relação direta inicial FH

FH	S ₄₁	S ₄₂	S ₄₃	S ₄₄
S ₄₁	0,00;0,00;0,00	2,10;2,95;3,80	2,87;3,72;4,57	3,43;4,11;4,79
S ₄₂	4,29;4,62;4,69	0,00;0,00;0,00	3,64;4,24;4,83	3,21;3,98;4,74
S ₄₃	2,23;3,08;3,93	3,30;3,98;4,66	0,00;0,00;0,00	3,86;4,36;4,87
S ₄₄	3,09;3,85;4,61	1,54;2,31;3,07	1,84;2,69;3,54	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 35 - Matriz de relação direta inicial normalizada FH

FH	S₄₁	S₄₂	S₄₃	S₄₄
S₄₁	0,00;0,00;0,00	0,14;0,20;0,26	0,20;0,26;0,31	0,24;0,28;0,33
S₄₂	0,29;0,32;0,34	0,00;0,00;0,00	0,25;0,29;0,33	0,22;0,27;0,33
S₄₃	0,15;0,21;0,27	0,23;0,27;0,32	0,00;0,00;0,00	0,27;0,30;0,34
S₄₄	0,21;0,26;0,32	0,11;0,16;0,21	0,13;0,19;0,24	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 36 - Matriz de relação total FH

FH	S₄₁	S₄₂	S₄₃	S₄₄
S₄₁	0,25;0,61;2,06	0,32;0,68;2,02	0,39;0,77;2,22	0,47;0,87;2,41
S₄₂	0,56;0,95;2,48	0,25;0,59;1,97	0,49;0,89;2,40	0,54;0,97;2,59
S₄₃	0,42;0,82;2,31	0,40;0,75;2,09	0,25;0,60;2,02	0,52;0,92;2,46
S₄₄	0,38;0,73;2,06	0,25;0,57;1,78	0,29;0,64;1,95	0,22;0,56;1,91

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 37 - Matriz de relação direta inicial GLOBAL

GLOBAL	JIT	GP	TQM	FH
JIT	0,00;0,00;0,00	3,73;4,24;4,74	3,09;3,85;4,61	2,10;2,95;3,80
GP	4,07;4,49;4,91	0,00;0,00;0,00	3,64;4,24;4,83	3,21;3,98;4,74
TQM	3,51;4,11;4,70	2,23;3,08;3,93	0,00;0,00;0,00	2,10;2,95;3,80
FH	3,86;4,36;4,87	4,29;4,62;4,96	4,29;4,62;4,96	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 38 - Matriz de relação direta inicial normalizada GLOBAL

GLOBAL	JIT	GP	TQM	FH
JIT	0,00;0,00;0,00	0,25;0,29;0,32	0,21;0,26;0,31	0,14;0,20;0,26
GP	0,28;0,30;0,33	0,00;0,00;0,00	0,25;0,29;0,33	0,22;0,27;0,32
TQM	0,24;0,28;0,32	0,15;0,21;0,27	0,00;0,00;0,00	0,14;0,20;0,26
FH	0,26;0,30;0,33	0,29;0,31;0,34	0,29;0,31;0,34	0,00;0,00;0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 39 - Matriz de relação total GLOBAL

GLOBAL	JIT	GP	TQM	FH
JIT	0,38;0,84;2,94	0,54;1,01;3,04	0,53;1,03;3,16	0,39;0,84;2,80
GP	0,66;1,18;3,42	0,40;0,88;3,02	0,63;1,15;3,40	0,49;0,97;3,04
TQM	0,53;1,00;3,05	0,44;0,90;2,89	0,32;0,77;2,80	0,36;0,80;2,69
FH	0,70;1,22;3,47	0,67;1,17;3,32	0,70;1,22;3,45	0,35;0,80;2,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE F – VALORES DEFUZZIFICADOS E $\mu(x)$ GTA

Tabela 40 - Números *fuzzy* para o caso real e escalas de classificação do fator JIT

Escalas de Classificação	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	Valor defuzzificado	$\mu(x)$
REAL	3,610	3,981	4,251	3,945	0,903
NE	2,116	2,718	3,137	2,717	0,998
EB	2,116	2,718	3,297	2,752	0,942
MB	2,116	2,933	3,461	2,911	0,972
B	2,454	3,146	3,622	3,113	0,953
RB	2,757	3,349	3,780	3,312	0,938
M	3,034	3,546	3,934	3,508	0,926
RA	3,292	3,735	4,085	3,699	0,918
A	3,533	3,918	4,232	3,885	0,914
MA	3,756	4,091	4,374	4,062	0,913
EA	3,961	4,256	4,374	4,225	0,895

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 41 - Números *fuzzy* para o caso real e escalas de classificação do fator GP

Escalas de Classificação	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	Valor defuzzificado	$\mu(x)$
REAL	5,483	6,181	6,732	6,116	0,907
NE	3,785	4,875	5,585	4,849	0,975
EB	3,785	4,875	5,754	4,884	0,990
MB	3,785	5,106	5,922	5,047	0,955
B	4,182	5,331	6,088	5,264	0,941
RB	4,543	5,552	6,254	5,481	0,929
M	4,880	5,770	6,417	5,698	0,919
RA	5,198	5,983	6,580	5,914	0,912
A	5,501	6,194	6,742	6,129	0,907
MA	5,790	6,399	6,901	6,341	0,904
EA	6,062	6,600	6,901	6,538	0,884

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 42 - Números *fuzzy* para o caso real e escalas de classificação do fator TQM

Escalas de Classificação	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	Valor defuzzificado	$\mu(x)$
REAL	5,575	6,227	6,752	6,166	0,908
NE	3,972	4,873	5,551	4,876	0,995
EB	3,972	4,873	5,717	4,911	0,955
MB	3,972	5,088	5,883	5,067	0,982
B	4,269	5,304	6,049	5,264	0,962
RB	4,576	5,519	6,214	5,467	0,945
M	4,883	5,734	6,380	5,675	0,931
RA	5,187	5,948	6,544	5,887	0,920
A	5,485	6,160	6,708	6,100	0,912
MA	5,773	6,368	6,870	6,312	0,906
EA	6,047	6,572	6,870	6,511	0,882

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 43 - Números *fuzzy* para o caso real e escalas de classificação do fator FH

Escalas de Classificação	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	Valor defuzzificado	$\mu(x)$
REAL	3,712	4,066	4,337	4,033	0,908
NE	2,789	3,174	3,484	3,184	0,966
EB	2,789	3,174	3,602	3,210	0,916
MB	2,789	3,315	3,727	3,321	0,987
B	2,966	3,465	3,854	3,457	0,984
RB	3,152	3,616	3,980	3,599	0,962
M	3,341	3,767	4,107	3,743	0,943
RA	3,529	3,918	4,233	3,890	0,928
A	3,716	4,068	4,358	4,039	0,916
MA	3,898	4,215	4,482	4,186	0,907
EA	4,073	4,358	4,482	4,324	0,880

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 44 - Números *fuzzy* para o caso real e escalas de classificação do fator GLOBAL

Escalas de Classificação	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	Valor defuzzificado	$\mu(x)$
REAL	18,38	20,46	22,07	20,26	0,906
NE	12,66	15,64	17,76	15,63	0,997
EB	12,66	15,64	18,37	15,76	0,955
MB	12,66	16,44	18,99	16,35	0,975
B	13,87	17,24	19,61	17,10	0,957
RB	15,03	18,04	20,23	17,86	0,941
M	16,14	18,82	20,84	18,62	0,928
RA	17,21	19,58	21,44	19,39	0,918
A	18,24	20,34	22,04	20,15	0,911
MA	19,22	21,07	22,63	20,90	0,907
EA	20,14	21,79	22,63	21,60	0,884

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE G – VALORES DEFUZZIFICADOS E $\mu(X)$ MATRIZ T DEMATEL

Tabela 45 - Matriz de relação total GLOBAL defuzzificada

GLOBAL	JIT		GP		TQM		FH	
	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$
JIT	1,19	0,835	1,33	0,841	1,37	0,843	1,16	0,841
GP	1,52	0,848	1,23	0,838	1,49	0,848	1,29	0,847
TQM	1,33	0,839	1,23	0,838	1,11	0,834	1,10	0,838
FH	1,56	0,850	1,49	0,849	1,55	0,850	1,13	0,840
Média da matriz total T defuzzificada					1,32			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 46 - Matriz de relação total JIT defuzzificada

JIT	S ₁₁		S ₁₂		S ₁₃		S ₁₄	
	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$
S ₁₁	0,72	0,828	1,50	0,83	1,52	0,832	0,95	0,829
S ₁₂	0,89	0,834	1,30	0,83	1,59	0,835	1,14	0,834
S ₁₃	0,93	0,836	1,61	0,84	1,40	0,834	1,23	0,837
S ₁₄	0,88	0,834	1,55	0,84	1,58	0,837	0,98	0,830
Média da matriz total T defuzzificada					1,24			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 47 - Matriz de relação total GP defuzzificada

GP	S ₂₁		S ₂₂		S ₂₃		S ₂₄		S ₂₅		S ₂₆	
	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$
S ₂₁	0,46	0,839	0,62	0,856	0,66	0,859	0,56	0,856	0,52	0,858	0,29	0,855
S ₂₂	0,58	0,855	0,47	0,838	0,65	0,857	0,60	0,859	0,49	0,855	0,29	0,856
S ₂₃	0,46	0,838	0,45	0,837	0,35	0,832	0,40	0,837	0,34	0,837	0,17	0,832
S ₂₄	0,51	0,845	0,56	0,847	0,58	0,849	0,38	0,834	0,40	0,843	0,24	0,844
S ₂₅	0,47	0,840	0,47	0,839	0,49	0,840	0,42	0,838	0,29	0,831	0,23	0,842
S ₂₆	0,61	0,856	0,59	0,854	0,64	0,856	0,58	0,857	0,46	0,852	0,22	0,836
Média da matriz total T defuzzificada					0,46							

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 48 - Matriz de relação total TQM defuzzificada

TQM	S ₃₁		S ₃₂		S ₃₃		S ₃₄		S ₃₅		S ₃₆	
	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$
S ₃₁	0,23	0,832	0,41	0,845	0,32	0,836	0,35	0,837	0,29	0,836	0,33	0,836
S ₃₂	0,49	0,862	0,37	0,841	0,51	0,859	0,50	0,859	0,44	0,856	0,54	0,860
S ₃₃	0,41	0,850	0,47	0,858	0,37	0,837	0,54	0,858	0,39	0,849	0,47	0,851
S ₃₄	0,33	0,841	0,44	0,851	0,50	0,853	0,33	0,834	0,38	0,845	0,40	0,842
S ₃₅	0,32	0,839	0,36	0,843	0,45	0,847	0,38	0,842	0,28	0,832	0,48	0,846
S ₃₆	0,41	0,850	0,42	0,853	0,52	0,860	0,51	0,859	0,50	0,861	0,37	0,836
Média da matriz total T defuzzificada					0,41							

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 49 - Matriz de relação total FH defuzzificada

FH	S ₄₁		S ₄₂		S ₄₃		S ₄₄	
	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$	Valor	$\mu(x)$
S ₄₁	0,85	0,837	0,88	0,850	0,99	0,848	1,10	0,850
S ₄₂	1,17	0,856	0,81	0,840	1,11	0,855	1,20	0,858
S ₄₃	1,05	0,849	0,95	0,850	0,83	0,838	1,15	0,852
S ₄₄	0,94	0,841	0,76	0,840	0,85	0,839	0,78	0,834
Média da matriz total T defuzzificada					0,96			

Fonte: Elaborado pelo autor.