



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE
RISCOS ENVOLVENDO MÚLTIPLOS DECISORES: UMA
ABORDAGEM DA COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA SOBRE
A FMEA EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE POR

RAMON SWELL GOMES RODRIGUES CASADO

Orientador: Prof. Lúcio Camara e Silva, DSc

Coorientadora: Prof.^a Maísa Mendonça Silva, DSc

Caruaru – 2018

RAMON SWELL GOMES RODRIGUES CASADO

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE RISCOS
ENVOLVENDO MÚLTIPLOS DECISORES: UMA ABORDAGEM DA
COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA SOBRE A FMEA EM UMA CADEIA
DE SUPRIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Orientador: Prof. Lúcio Camara e Silva, Doutor
Coorientadora: Prof.^a Maísa Mendonça Silva, Doutora

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva CRB/4 - 1223

C334p Casado, Ramon Swell Gomes Rodrigues.
Proposição de um modelo para priorização de riscos envolvendo múltiplos decisores: uma abordagem da composição probabilística sobre a FMEA em uma cadeia de suprimentos. / Ramon Swell Gomes Rodrigues Casado. – 2018.
105 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Lúcio Camara e Silva.
Coorientadora: Maísa Mendonça Silva
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2018.
Inclui Referências.

1. Administração de risco (Pernambuco). 2. Processo decisório (Pernambuco). 3. Probabilidades. 4. Garantia de qualidade (Pernambuco). 5. Roupas – Confecção (Pernambuco). I. Silva, Lúcio Camara e (Orientador). II. Silva, Maísa Mendonça (Coorientadora). III. Título.

658.5 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2018-023)

RAMON SWELL GOMES RODRIGUES CASADO

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE RISCOS
ENVOLVENDO MÚLTIPLOS DECISORES: UMA ABORDAGEM DA
COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA SOBRE A FMEA EM UMA CADEIA
DE SUPRIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Aprovado em: 28 / 02 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Lúcio Camara e Silva, Doutor (Orientador)
UFPE/CAA

Prof. Marcelo Hazin Alencar, Doutor (Examinador Interno)
UFPE/CAA

Prof.^a. Ana Paula Cabral Seixas Costa, Doutora (Examinadora Externa)
DEP/CTG

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino. Aos meus amados pais, Marly e Valdir, por acreditarem em mim, e com muito carinho não medirem esforços para meu crescimento pessoal e profissional. A pessoa com quem amo partilhar a vida, minha querida namorada Lorena, pela força e paciência nos momentos de dificuldades, além de sua capacidade de me trazer paz. E em especial, à memória de minha querida avó, Dona Nenê, jamais vou esquecer o seu carinho por mim. Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, o centro e o fundamento de tudo em minha vida, por renovar a cada momento a minha força e disposição, pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada e por ter me iluminado nas decisões mais difíceis.

Aos meus pais, Marly e Valdir, pelo incentivo constante ao meu desenvolvimento profissional, pela força e compreensão em todos os momentos da minha vida, e pelo amor incondicional que têm por mim. E em especial, à memória de minha querida avó, Dona Nenê, jamais vou esquecer o seu carinho por mim.

De uma forma especial, a minha namorada Lorena, que vem me acompanhando desde a época da graduação e com quem tenho compartilhado sonhos e conquistas. Agradeço por todo amor, companheirismo, carinho, por toda colaboração, paciência e compreensão para me ajudar a achar soluções quando elas pareciam não existir. Assim como agradeço seus pais, Liana e Gilmar, pela confiança, apoio e o carinho em todos os momentos durante esta importante etapa.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste (PPGEP/CAA), por todo apoio e suporte durante a realização deste mestrado. Bem como a todos os funcionários que contribuíram de alguma forma, em especial a George pelo grande apoio e amizade.

A CAPES pelo apoio financeiro, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento da minha pesquisa ao longo do curso e do período de execução dos trabalhos.

A todos os docentes do PPGEP/CAA pelo aprendizado obtido, em especial a meus orientadores professor Doutor Lúcio Camara e Silva e professora Doutora Maísa Mendonça Silva, pelo apoio e confiança a mim depositados, além da dedicada, competente e paciente atenção com este trabalho, sempre de maneira muito receptiva e aberta.

À minha turma de mestrado que definitivamente foi um grande presente, obrigado por estarem comigo em várias circunstâncias no decorrer desse curso, em especial agradeço a Pablo e Mísia, por todas as trocas de experiências e aprendizados juntos. As amizades aqui conquistadas, sem dúvidas, serão para toda a vida.

Aos amigos do GPSID e a todas amizades conquistadas ao longo desses anos, por toda parceria e companhia, em especial aos meus amigos Ednael Vieira e Danilo Brito, que estiveram sempre à disposição para ajudar.

A todos que fizeram parte na minha formação, meus sinceros agradecimentos!

“A maior recompensa para o trabalho de uma pessoa não é o que ela ganha, mas o que ela se torna com isso”.

(RUSKIN, 2018, p. 156)

RESUMO

As cadeias de suprimentos modernas estão operando em um contexto de crescente complexidade e sujeitas a diversas tendências, o que em parte acarreta em uma maior eficiência, mas também acaba aumentando o perfil dos riscos envolvidos. Diante desse contexto, ressalta-se a necessidade de se trabalhar análises mais apuradas das falhas que atuam sobre estas cadeias, e uma das ferramentas amplamente utilizada nesse intuito é a *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Todavia essa ferramenta apresenta algumas questões críticas que merecem atenção para que se possa melhorar seu desempenho, a exemplo da análise determinística que ocorre de forma limitada e não considera as variações presentes nos julgamentos dos critérios. Sobre essa questão da presença de incerteza nas medidas subjetivas, percebeu-se na literatura a utilização conjunta com a FMEA de uma nova vertente em ascensão da abordagem multicritério: a Composição Probabilística de Preferências (CPP). Neste sentido, o respectivo estudo propôs um modelo para priorização de riscos, com base em uma representação mais efetiva de informações incertas ligadas ao tratamento da FMEA tradicional, considerando um contexto mais amplo envolvendo múltiplos decisores e o emprego da abordagem da CPP em uma situação real. Para tanto, realizou-se a transformação probabilística das avaliações numéricas dos decisores sobre os critérios da FMEA a respeito dos riscos internos que incidem sobre a cadeia do Polo de Confecções do Agreste Pernambucano, para posteriormente agregar essas avaliações através do coeficiente de concordância W de Kendall. Através desse procedimento foi possível observar o aprimoramento do processo de decisão sobre ações de melhoria para gestão de riscos, avaliando as falhas que são consideradas mais importantes, visto que se obteve um ordenamento (dos riscos) mais condizente com a realidade do ambiente da pesquisa do que em comparação com a aplicação da FMEA tradicional. Com isso, percebe-se o quanto o modelo proposto pode contribuir na melhoria das decisões dentro organizações que compõem as cadeias, garantindo assim maior qualidade no gerenciamento de riscos.

Palavras-Chave: Gestão de riscos. Priorização. FMEA. CPP. Modelo. Agregação. Múltiplos decisores.

ABSTRACT

Modern supply chains are operating in a context of increasing complexity and subject to various trends, which in part leads to greater efficiency, but also increases the profile of the risks involved. In view of this context, it is necessary to work on analysis more accurate of failures that act on these chains, and one of the tools widely used for this purpose is Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). However, this tool presents some critical questions that deserve attention in order to improve its performance, like the deterministic analysis that occurs in a limited way and does not consider the variations present in the judgments of the criteria. On this question of the presence of uncertainty in the subjective measures, it was noticed in the literature the joint use with the FMEA of a new aspect of the multicriteria approach: Probabilistic Composition of Preferences (CPP). In this sense, the respective study proposed a model for risk prioritization, based on a more effective representation of uncertain information related to traditional FMEA treatment, considering a broader context involving multiple decision makers and the use of the CPP approach in a real situation. For this purpose, the probabilistic transformation of the numerical evaluations of the decision makers on the FMEA criteria on the internal risks that affect the chain of Clothing Pole in the Agreste region of Pernambuco was carried out, and then to aggregate these evaluations using the coefficient of agreement W of Kendall. Through this procedure, it was possible to observe the improvement of the decision-making process on improvement actions for risk management, evaluating the flaws that are considered more important, since an ordering (of the risks) was more in keeping with the reality of the research environment. compared to the application of traditional FMEA. With this, one can see how the proposed model can contribute to the improvement of the decisions within organizations that make up the chains, thus guaranteeing a better quality in risk management.

Keywords: Risk management. Prioritization. FMEA. CPP. Model. Aggregation. Multiple decision makers.

LISTAS DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Procedimento geral da Gestão de Riscos	27
Figura 2 – Principais deficiências do sistema da FMEA por ordem de citação	30
Figura 3 – Relevância dos agrupamentos dos problemas da FMEA segundo a academia e a indústria	31
Figura 4 – Etapas genéricas da Composição Probabilística de Preferência	37
Figura 5 – Tipos de composição segundo o enfoque considerado pelo decisor.....	43
Figura 6 – Publicações da CPP tradicional na literatura divididas por área de atuação.....	45
Figura 7 – Framework com as etapas gerais do modelo proposto	53
Figura 8 – Procedimento para execução do modelo proposto.....	55
Figura 9 – Detalhamento das subetapas da fase de conceitualização.....	56
Figura 10 – Detalhamento das subetapas da fase de modelagem.....	60
Figura 11 – Exemplo-teste do gráfico Cullen-Frey	61
Figura 12 – Gráficos de Cullen-Frey para as avaliações das empresas E ₂ e E ₆	62
Figura 13 – Gráficos de Cullen-Frey para as avaliações das empresas E ₁₀ e E ₁₄	63
Figura 14 – Gráficos de Cullen-Frey para as avaliações das empresas E ₁₈ e E ₂₂	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Algumas abordagens sobre a interpretação do termo risco	23
Tabela 2 – Classificação das abordagens de melhoria para a avaliação de risco da FMEA	32
Tabela 3 – Panorama das distribuições empregadas na CPP tradicional	39
Tabela 4 – Diferentes orientações para a composição das avaliações probabilísticas	42
Tabela 5 – Resultado dos diferentes enfoques sob as hipóteses de máxima dependência e independência	44
Tabela 6 – Detalhamento das publicações da CPP tradicional na literatura	46
Tabela 7 – Lista dos riscos internos analisados e seus respectivos registros	57
Tabela 8 – Avaliação de cada decisor da amostra das empresas sob os critérios da FMEA....	59
Tabela 9 – Parâmetros α e β do conjunto de avaliações dos decisores.....	64
Tabela 10 – Resultados dos testes de KS para o conjunto de dados em estudo	65
Tabela 11 – Extrato das probabilidades de preferência para cada risco	69
Tabela 12 – Resultado da composição das probabilidades de preferência para cada risco	70
Tabela 13 – Estatísticas do coeficiente de concordância W de Kendall	71
Tabela 14 – Agregação das composições de preferência dos riscos	71
Tabela 15 – Visualização comparativa entre os rankings da FMEA e do modelo proposto....	72
Tabela 16 – Estatísticas do coeficiente de concordância para a análise de sensibilidade	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CS	Cadeias de Suprimentos
GR	Gerenciamento de Riscos
BIA	<i>Business Impact Analysis</i>
CPP	Composição Probabilística de Preferência
CPP-Tri	CPP Tricotômica
D	Dificuldade de detecção
EED	Dispositivos eletro explosivos
ETA	<i>Event Tree Analysis</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
GCS	Gestão da Cadeia de Suprimentos
GRCS	Gestão de Risco na Cadeia de Suprimentos
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i>
KS	Kolmogorov-Smirnov
MCDA	<i>Multiple-criteria Decision Analysis</i>
MLE	<i>Maximum Likelihood Estimation</i>
MME	<i>Method of Moments Estimators</i>
MMUE	<i>Method of Moments Estimators Based on the Unbiased Estimator of Variance</i>
O	Ocorrência
PPe _i	Progressivo/Pessimista
PHA	<i>Preliminary Hazard Analysis</i>
QRA	<i>Quantitative Risk Analysis</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
S	Severidade
SJA	<i>Safe Job Analysis</i>
SAFOP	<i>Safety and Operability Study</i>
SMAA	<i>Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa e relevância	17
1.2	Objetivos	20
1.2.1	Objetivo geral	20
1.2.2	Objetivos específicos	20
1.3	Classificação do estudo	20
1.4	Estruturação do trabalho	22
2	BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	Riscos	23
2.1.1	Categorização dos tipos de riscos	24
2.2	Gestão de riscos	25
2.2.1	Processo de gestão de riscos	26
2.3	Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA)	28
2.3.1	Processo de análise de criticidade da FMEA	29
2.3.2	Deficiências no processo tradicional da FMEA	30
2.3.3	Abordagens de melhoria para o processo de análise de criticidade	31
2.4	Problemas envolvendo incertezas	33
2.5	Composição Probabilística de Preferência (CPP)	34
2.5.1	Abordagens da CPP	35
2.5.1.1	<i>CPP-Tri</i>	35
2.5.1.2	<i>CPP tradicional</i>	36
2.5.2	Estágios da CPP tradicional	36
2.5.2.1	<i>Quantificação inicial dos atributos</i>	37
2.5.2.2	<i>Aleatorização das avaliações</i>	38
2.5.2.3	<i>Cálculo das probabilidades de preferência para cada alternativa</i>	40
2.5.2.4	<i>Composição das probabilidades de preferência</i>	41
2.5.3	Pressuposto da probabilidade conjunta sobre a correlação	43
2.6	Abordagens da CPP tradicional	45
2.7	Síntese sobre a seção	49
3	MODELO PROPOSTO	51

3.1	Justificativa do método	51
3.2	Descrição do modelo proposto	52
4	APLICAÇÃO DO MODELO	56
4.1	Conceitualização do problema	56
4.2	Modelagem do problema	59
4.2.1	Aleatorização das avaliações do estudo	60
4.2.2	Cálculo e composição das probabilidades de preferência	66
4.2.3	Agregação das composições (rankings)	67
4.3	Resolução do problema	68
4.4	Feedback da modelagem	74
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76
5.1	Conclusões	76
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	78
	REFERÊNCIAS	79
	APÊNDICE A – Algoritmo utilizado para a composição probabilística	95
	APÊNDICE B – Algoritmo utilizado para a agregação dos rankings	96
	APÊNDICE C – Algoritmo para estimação dos parâmetros α e β na análise de sensibilidade	98
	APÊNDICE D – Probabilidades de preferência segundo a distribuição Beta	100
	APÊNDICE E – Probabilidades conjuntas de acordo com os métodos MME e MMUE	101
	ANEXO A – Base de dados da pesquisa de Palmeira (2016)	103

1 INTRODUÇÃO

Desde o final do século XX a tendência em relação ao processo da globalização fez com que um novo paradigma surgisse no contexto da gestão empresarial: as organizações passaram a competir através dos diversos canais de distribuição nos quais estão inseridas, e não mais apenas entre si de forma isolada dependendo de suas próprias competências e aptidões para atender a demanda (HANDFIELD; NICHOLS, 1998; PIGATTO; ALCANTARA, 2007; ODA; MARQUES, 2012; RITCHIE; BRINDLEY, 2007).

Deste modo, essa relação de interdependência a qual as empresas se encontravam cada vez mais sujeitas, levou a integração das mesmas em Cadeias de Suprimentos (CS), cuja interpretação refere-se a um sistema por meio do qual um conjunto de entidades estão integradas, a jusante e a montante nos diferentes processos e atividades, com o propósito de viabilizar o fornecimento e distribuição de produtos/serviços até o consumidor final (CHRISTOPHER, 2016; LAMBERT, 2010; MENTZER *et al.*, 2001; POIRIER; REITER, 1997; SLACK *et al.*, 2009; STADTLER *et al.*, 2015)

No entanto, apesar dessa tendência em relação ao processo de globalização ter fornecido às organizações várias oportunidades para evoluir e integralizar (PARRA; PIRES, 2003; WIENGARTEN *et al.*, 2016), a complexidade no gerenciamento das CS aumentou exponencialmente (CHRISTOPHER, 2016), sendo influenciada por diversos fatores, como por exemplo: aumento do *mix* de produtos; diminuição do ciclo de vida; aumento do número de canais de suprimentos; aumento das expectativas e a mudança das preferências dos clientes (BLACKHURST *et al.*, 2005; CHRISTOPHER, 2016; JÜTTNER, 2005; PONOMAROV; HOLCOMB, 2009; SIMCHI-LEVI *et al.*, 2004; TANG; MUSA, 2011).

Logo, em função dessa grande complexidade houve também um aumento nas rupturas dos processos e operações das CS, ocasionando assim uma elevação dos riscos envolvidos (CHRISTOPHER; PECK, 2004; GREEN, 2015; TANG; MUSA, 2011; TRKMAN; MCCORMACK, 2009; WAGNER; BODE, 2006; ZSIDISIN *et al.*, 2005a), o que consequentemente acarreta no aumento da probabilidade de causar impactos indesejáveis no desempenho operacional e financeiro das organizações (BLOME; SCHOENHERR, 2011; PONOMAROV; HOLCOMB, 2009; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011).

Esse crescimento dos riscos nas operações das cadeias tornou-se uma realidade, na qual nem sempre pode ser evitada e nem pode ser também ignorada (ZSIDISIN *et al.*, 2005a), por este modo, gradativamente vem-se tornando uma preocupação chave ao longo da CS considerar o Gerenciamento de Riscos (GR) em seus processos de negócio (BLOME; SCHOENHERR,

2011; COLICCHIA; STROZZI, 2012; KHAN; BURNES, 2007; TOMAS; ALCANTARA, 2013).

Portanto, a dificuldade nesse contexto parte de gerir os eventos nas CS que estão associados com os diversos tipos de incerteza, para que se possa determinar uma adequada forma de tratar os cenários críticos e seus impactos (FAN *et al.*, 2017), principalmente levando em consideração que conforme Choudhry e Iqbal (2013) uma grande parte das organizações ainda fazem uso de sistemas e as práticas de GR reativos, informais e não estruturados.

Nesse contexto, tem-se que Almeida *et al.* (2015) destacam em seu livro que ao lidar com a análise de risco, existem muitas técnicas sistemáticas que podem ser utilizadas, tais como:

- a) *Hazard and Operability Study* (HAZOP);
- b) *Safety and Operability Study* (SAFOP);
- c) *Safe Job Analysis* (SJA);
- d) *Preliminary Hazard Analysis* (PHA);
- e) *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA ou Análise dos modos de falha e seus efeitos);
- f) *Quantitative Risk Analysis* (QRA)

Em complemento a essa lista, Oliveira *et al.* (2017) também apresentam outros mecanismos abordados na literatura que servem para o GR, com destaque para: i) *Fault Tree Analysis* (FTA); ii) *Event Tree Analysis* (ETA); iii) Análise de cenários; iv) *Business Impact Analysis* (BIA); v) Análise de custo/benefício.

E dentre todos esses métodos listados, chama-se a atenção para uma ferramenta analítica de natureza indutiva que vem sendo usada há mais de 70 anos para avaliar o impacto que qualquer falha pode ter para um sistema em consideração: a FMEA (KRITZINGER, 2017; SPREAFICO *et al.*, 2017).

Essa ferramenta tem sido amplamente empregada como uma expressiva técnica para apoiar a avaliação da segurança de sistemas, como também para dar suporte para a análise de manutenção e confiabilidade de produtos e processos em uma larga gama de indústrias, a exemplo da aeroespacial, cadeia de suprimentos, nuclear, automotiva e médica (DAVOUDPOUR; SABOURI, 2012; EBELING, 2010).

Contudo, a ampla variedade de aplicações na literatura da FMEA revelou que apesar de sua grande utilização, tem-se a existência de algumas fraquezas e limitações em seus procedimentos de análise, como por exemplo o fato da importância relativa entre os critérios que não é levada em consideração, ou ainda a questão dos fatores de risco serem difíceis de

estimar com precisão (CÂNDEA *et al.*, 2014; CARLSON, 2012; KRITZINGER, 2017; LIU *et al.*, 2013).

Desse modo vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos para aprimorar os processos de análise de risco da FMEA em função das falhas encontradas nessa ferramenta, a exemplo de: Chang e Cheng (2011); Chang *et al.* (2017); Liu *et al.* (2012); Liu *et al.* (2014); Lolli *et al.* (2015); Pillay e Wang (2003); Sankar e Prabhu (2001); Seyed-Hosseini *et al.* (2006); Wang *et al.* (2009).

No entanto, dentro desse contexto de análises e melhorias da FMEA, um fator ainda chama a atenção: a análise determinística oriunda dessa ferramenta ocorre de forma limitada e não considera as variações presentes nos julgamentos dos critérios (SANT'ANNA, 2012).

Ou seja, apesar da tendência de os aprimoramentos expostos na literatura buscarem, na grande maioria, a integração matemática para o cálculo da FMEA (SPREAFICO *et al.*, 2017), a presença de incerteza nas medidas subjetivas ainda se configura como um problema frequente, sendo importante ressaltar que uma fração das informações podem ser perdidas, principalmente caso seja considerado apenas o valor mais frequente na análise histórica dos julgamentos (SANT'ANNA, 2012).

Dessa forma, percebeu-se na literatura a utilização conjunta com a FMEA de uma nova vertente em ascensão da abordagem multicritério, que emprega uma visão probabilística na busca de reduzir os efeitos de erros nas medidas dos critérios, permitindo assim simplificar a modelagem e levar em consideração a incerteza inerente nas medições. Esse novo método intitula-se como Composição Probabilística de Preferências (CPP), o qual foi proposto pela 1ª vez por Sant'Anna (2002a), sendo inicialmente trabalhado sob esse enfoque conjunto com a FMEA por Sant'Anna e Júnior (2010).

Diante de tal realidade, alguns pontos geraram o delineamento desse estudo:

- a) a percepção de que o emprego da CPP sobre a FMEA traz consigo um aprimoramento de algumas lacunas dessa ferramenta, bem como permite um melhor apoio a priorização dos riscos, visto que gera uma maior contribuição através da utilização das experiências dos respondentes para gerenciar informações implícitas;
- b) a compreensão de que o GR pela FMEA ocorre geralmente sob a ótica de uma análise individual e que há poucos trabalhos, na literatura, que envolvem conjuntamente a CPP com a FMEA em um contexto de múltiplos decisores;
- c) a possibilidade de trabalhar essa temática aplicada à caso prático em uma área de grande respaldo e ascensão como a CS.

Portanto, um dos principais questionamentos dessa pesquisa refere-se ao fato de como então modelar um mecanismo que possibilite contribuir para a tomada de decisão mais estruturada e assertiva, considerando uma análise voltada para o tratamento da CPP sobre os julgamentos dos critérios da FMEA, de modo a possibilitar que tais avaliações possam ser efetivamente refletidas na priorização adequada dos riscos, em um caso prático, considerando um contexto mais amplo, envolvendo múltiplos decisores.

1.1 Justificativa e relevância

Conforme relata McCormack *et al.* (2010), em qualquer tipo de relacionamento que envolva CS, haverá um nível de risco ou incerteza associado. E as consequências dessas discontinuidades estão associadas à forma pela qual cada organização consegue reagir, ou seja, caso não gerencie adequadamente os riscos, haverá um impacto efetivo no desempenho dos eixos de desenvolvimento (EBRAHIMZADEH, 2011).

Complementando essa questão do gerenciamento, Sheffi e Rice (2005) retratam que as organizações que obtêm êxito na análise dos riscos envolvidos em suas atividades, tornam-se mais robustas, atingindo assim um nível de competitividade maior com relação às menos preparadas.

Enfatizando a importância desse tipo de gerenciamento, tem-se que variadas propostas já foram publicadas na literatura exibindo o desenvolvimento de abordagens para a gestão e diretrizes para mitigação de riscos, na intenção de formar CS mais seguras e robustas, como por exemplo: Chopra e Sodhi (2004); Lee e Wolfe (2003); Manuj e Mentzer (2008); Martha e Subbakrishna (2002); Rice e Caniato (2003); Shaer e Goedhart (2009); Zsidisin *et al.* (2005b).

Percebe-se assim que uma melhor compreensão a respeito do comportamento dos riscos acaba demandando novas abordagens no âmbito do GR e, desse modo, torna-se essencial, para a manutenção da competitividade, a proposição de diferentes formas para conduzir e mitigar as incertezas, na perspectiva das CS (ZENG *et al.*, 2005; ZSIDISIN; RITCHIE, 2008).

Dessa forma, pesquisas que venham a contribuir para o melhor entendimento dos riscos e suas dinâmicas nas cadeias tendem a servir como base para o desenvolvimento de modelos de gestão mais eficientes (BLOS *et al.*, 2009; COLICCHIA; STROZZI, 2012; STOCK, 2009), ressaltando ainda mais a importância dessa pesquisa.

Assim, este estudo tem significativa importância pelo fato de que existe uma necessidade de estabelecer uma compreensão entre os riscos e incertezas nas CS, a fim de preencher a lacuna (*gap*) entre a teoria e a prática das pesquisas de gerenciamento das CS (GHADGE *et al.*, 2012; SREEDEVI; SARANGA, 2017; ZIJM *et al.*, 2016). Desta forma, uma proposta de análise e

gerenciamento aplicada a um caso prático acaba contribuindo para o melhor entendimento desta lacuna.

Além disso, o GR é um campo que já se apresenta bem compreendido na área de finanças, no entanto é um tema em desenvolvimento dentro do domínio das pesquisas voltadas para a gestão nas CS (GHADGE *et al.*, 2012; JÜTTNER *et al.*, 2003; KHAN; BURNES, 2007; VANANY *et al.*, 2009), destacando assim um crescente interesse prático pelo assunto.

Outro quesito de destaque, nesse âmbito do GR, refere-se ao fato de que a formulação e a resolução de problemas desse cunho dentro de uma organização, na maioria das vezes, são realizadas sem o uso de métodos formais, isso acaba gerando naturalmente uma preocupação associada com as consequências das decisões obtidas para esses problemas, logo a construção de modelos de decisão torna-se ponto fundamental para aprimorar o desempenho do GR no contexto organizacional (ALMEIDA, 2013).

Ressalta-se assim a importância desse trabalho pelo fato de propor um processo de decisão estruturado, o qual está regulado na racionalidade das escolhas, as quais envolvem múltiplos critérios. Embora esse caráter racional seja levado em consideração nesse estudo, deve-se ressaltar que a tomada de decisão envolve a atividade humana, logo há intrinsecamente a noção de valor.

Isso acaba destacando a oportunidade desse estudo ao alinhar-se a perspectiva de análise para múltiplos decisores, fato este que na literatura há poucos relatos na área do GR com base na FMEA com a CPP, colaborando para a agregação de mais informações ao problema da priorização de riscos.

A relevância deste trabalho se torna ainda mais visível quando se percebe que o GR dentro das CS se configura como um processo complexo devido, em grande parte, à quantidade de variáveis envolvidas, as quais são difíceis de quantificar, em determinadas situações, de forma exata (AGUIAR *et al.*, 2012).

Bode *et al.* (2011) complementam essa questão relatando que ambientes caracterizados por altos riscos de interrupção, como os encontrados na CS, estão relacionados também a impossibilidade por parte das empresas de planejar e operar de forma objetiva, em função da falta de informações seguras e confiáveis.

Atrelado a esse contexto, quando a atribuição de prioridades a possíveis falhas na cadeia, ao contrário de ser oriunda de processos unificados, é proveniente de sistemas de valores pessoais, como no caso da FMEA, o tratamento da incerteza se torna um processo ainda mais complexo (SANT'ANNA; JÚNIOR, 2010).

Neste sentido, se revela importante, dentro das CS, que se faça a priorização dos riscos provenientes de diversas fontes, levando em consideração a existência de erros de medida de natureza aleatória em problemas que envolvem preferências.

Deste modo, com o uso de um modelo geral para levar em conta esses erros, as medidas de eficiência tendem a ser mais confiáveis que aquelas obtidas de dados determinísticos (SANT'ANNA *et al.*, 2012b).

Isso pode ser obtido mediante o uso da CPP, pois como citado por Sant'Anna (2012), o referido método tem como base o tratamento de medidas numéricas como estimativas de parâmetros de localização das distribuições de probabilidade, por este motivo, pode-se levar em consideração a incerteza inerente a tais medidas e efetuar o cálculo das probabilidades de cada falha potencial ser a mais impactante de acordo com cada critério. Além disso, tem-se que a abordagem probabilística apresenta a vantagem de possibilitar regras mais flexíveis na agregação dos riscos gerados por diferentes fatores (SANT'ANNA, 2015a).

É ratifica-se a relevância do uso do método CPP tendo em vista que a aplicação das pontuações probabilísticas em variadas áreas já demonstrou ser de grande utilidade, conforme observa-se em: Conde e Sant'Anna (2004); Sant'Anna (2005); Sant'Anna e Sant'Anna (2008); Almeida e Sant'Anna (2009); Sant'Anna e Júnior (2010); Caillaux *et al.* (2011); Sant'Anna e Conde (2011); Sant'Anna *et al.* (2011a, 2012a, 2012b, 2014, 2015a); Silva *et al.* (2015); Garcia *et al.* (2015a); Letta *et al.* (2016); Souza *et al.* (2016); Gavião *et al.* (2016c, 2017a).

Por fim, destaca-se a significativa importância do desenvolvimento desse trabalho, em função do mesmo ser oriundo de uma evolução de três estudos anteriores:

- a) Palmeira (2016) – onde foi proposto uma metodologia da FMEA associada à lógica *Fuzzy* para avaliar qual é o comportamento das empresas que fazem parte do Polo de Confeções do Agreste de Pernambuco diante dos riscos nas quais elas estão inseridas
- b) Casado *et al.* (2016) – onde foi proposto um procedimento inicial que utiliza a composição probabilística para a construção de índices que agreguem uma avaliação mais concisa aos fatores de risco na gestão de cadeias de suprimentos;
- c) Casado e Silva (2017) – onde essa perspectiva de avaliação de risco com base na metodologia da CPP foi testada através de uma aplicação no APL de confecções do agreste pernambucano a partir do cálculo das prioridades na FMEA.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Esta dissertação tem como objetivo geral a proposição de um modelo para priorização de riscos associados ao gerenciamento de Cadeias de Suprimentos (CS), com base na utilização da abordagem de decisão multicritério, envolvendo múltiplos decisores, derivado da modelagem integrada da Composição Probabilística de Preferências (CPP) sobre os critérios da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA).

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, apresentado anteriormente, os seguintes objetivos específicos devem ser atendidos:

- a) identificar os critérios envolvidos e os fatores de risco a serem analisados;
- b) caracterizar o grupo de decisores do processo e estabelecer o conjunto de avaliações em relação aos critérios que serviram de base para o estudo;
- c) aplicar a modelagem probabilística sobre as avaliações em relação aos critérios;
- d) investigar e realizar a agregação dos resultados probabilísticos da modelagem.

1.3 Classificação do estudo

Para se rotular qualquer tipo de estudo tem-se que ter como base algum critério de análise, logo, em relação as pesquisas de cunho científico, usualmente utiliza-se como classificação quatro pontos-chave: a natureza da pesquisa; a abordagem do problema; os objetivos gerais; e o delineamento dos procedimentos técnicos utilizados (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; SILVA; MENEZES, 2005).

No que tange a natureza desta pesquisa, tem-se que a mesma se qualifica como sendo do tipo aplicada, visto que objetiva gerar conhecimentos dirigidos (SILVA; MENEZES, 2005) à problemas específicos da prática da GR, mediante o emprego da CPP em conjunto com a FMEA.

Com relação ao segundo ponto-chave, a abordagem do problema, tem-se que o emprego combinado da visão qualitativa e quantitativa possibilita trabalhar com questões mais amplas que não seriam respondidas completamente usando uma das abordagens isoladamente, assim obtendo um entendimento melhor dos problemas de pesquisa (MIGUEL *et al.*, 2012).

Deste modo, os dados utilizados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa, só podendo ser compreendidos com base na análise com o auxílio de instrumentos padronizados (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Neste caso, por parte da ótica qualitativa, tem-se que a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos é considerada relevante e contribui para o desenvolvimento desse estudo. Sob a ótica quantitativa, foi possível traduzir em números as opiniões e informações coletadas para análise, requerendo dessa forma o uso de recursos e de técnicas matemáticas (SILVA; MENEZES, 2005).

Já em relação aos objetivos gerais da pesquisa, a mesma se configura como sendo exploratória, tendo em vista que o foco do estudo se baseia em proporcionar o aprimoramento de ideias ligadas a utilização da CPP para melhorar o GR, e além disso, segundo Gil (2010), esse tipo de classificação envolve um planejamento bastante flexível, que permite a consideração de vários aspectos relacionados ao fato estudado.

Finalmente, no que diz respeito ao último ponto-chave, o delineamento dos procedimentos técnicos utilizados, tem-se que o mesmo se refere ao planejamento da pesquisa em uma dimensão mais ampla, a qual envolve o ambiente no qual os dados são coletados e as formas de tratamento das variáveis envolvidas (GIL, 2010).

Neste caso, especificamente, fez-se uso da pesquisa documental para coleta de dados, tendo em vista que foi elaborada a partir do levantamento de referências já analisadas e publicadas por meios escritos e eletrônicos, além de outras fontes sem tratamento analítico (SILVA; MENEZES, 2005).

Já no que diz respeito a forma de tratamento das variáveis envolvidas nesse estudo, tem-se a utilização de um modelo, o qual pode ser definido como uma representação de uma situação ou realidade, conforme vista por uma pessoa ou um grupo de pessoas, e arquitetada de forma a auxiliar a tratamento daquela situação de uma maneira sistemática (MIGUEL *et al.*, 2012).

Ainda segundo Miguel *et al.* (2012), a utilização de modelos permite compreender melhor o ambiente, analisar problemas, formular estratégias, além de apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisões. E especificamente para este estudo, fez-se uso de uma modelagem quantitativa que utiliza um conjunto de variáveis que inferem a qualidade das decisões, as quais são tratadas e obtidas através de uma linguagem tanto matemática quanto computacional (MIGUEL *et al.*, 2012).

1.4 Estruturação do trabalho

A fim de atender aos objetivos propostos para esse trabalho, a dissertação foi organizada em cinco seções, as quais buscam orientar uma sequência dos assuntos que guardam relação ao tema estudado.

A presente seção exibe uma visão introdutória que sintetiza todo o contexto que será abordado na pesquisa, incluindo uma breve contextualização, a justificativa da realização do estudo e seus objetivos, bem como a classificação do mesmo.

Na segunda seção é apresentada a base conceitual, com os principais temas que darão embasamento teórico para a realização do presente trabalho, envolvendo os principais conceitos sobre riscos e gestão de riscos, com destaque para a FMEA, bem como apresenta também a essência da CPP, além disso, nessa seção expõe-se também uma revisão da literatura, enfatizando as principais publicações relacionadas a aplicação da CPP tradicional, tendo como foco a abordagem conjunta com as aplicações da FMEA.

A terceira seção aborda o modelo multicritério proposto, detalhando a descrição de sua estrutura, assim como é apresentada uma justificativa para a escolha do método, o conjunto de riscos considerados, os critérios utilizados na avaliação e os decisores do processo decisório.

A quarta seção trata da aplicação numérica do modelo proposto, mediante a realização de uma simulação, a qual utilizou-se de dados reais.

Na última seção será descrita as considerações finais e limitações desse estudo, bem como apresenta-se também algumas recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, serão expostas as referências bibliográficas, anexos e apêndices utilizados na elaboração desta pesquisa.

2 BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção serão apresentados os conceitos básicos que darão suporte teórico ao presente trabalho, com o intuito de proporcionar maior familiaridade com o tema e torná-lo mais explícito, além disso, para compreender melhor o contexto de aplicação deste trabalho, nesta seção apresenta-se também uma breve revisão de literatura, onde estão incluídos os principais trabalhos que abordam a temática da CPP.

Não é o objetivo do presente trabalho esgotar todo o assunto analisado, principalmente no que diz respeito à robustez dessa temática, e sim descrever de forma abrangente os elementos fundamentais para a compreensão da abordagem desse estudo.

2.1 Riscos

O ponto de partida para muitos trabalhos envolvendo risco é a discussão sobre suas aplicações. Na literatura há alguns trabalhos que utilizam a noção de risco nos mais variados campos de atuação, a exemplo de: finanças (FISHER; YAO, 2017); teoria da decisão (BORGONOVO *et al.*, 2018); marketing (DAI; MENG, 2015); gestão (IRIMIA-DIÉGUEZ *et al.*, 2014); indústria (DAKKOUNE *et al.*, 2018); e psicologia (YOUNGGREN *et al.*, 2016).

No que diz respeito a conceituação, diversas publicações tratam da questão em torno de como definir o termo “risco”, e o que se percebe de fato é que não há um significado global e único (HAGIGI; SIVAKUMAR, 2009; LEHTIRANTA, 2014). Dessa forma, as várias definições, encontradas na literatura acadêmica, acabaram gerando uma ampla variedade de abordagens e muitas interpretações distintas (RITCHIE; BRINDLEY, 2007), conforme os exemplos expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Algumas abordagens sobre a interpretação do termo risco

(continua)

Autor	Definição
Aven (2010)	Um evento, consequências e probabilidades (ou incertezas).
Aven <i>et al.</i> (2015)	É a exposição a uma proposição (por exemplo, a ocorrência de uma perda) da qual é incerto.
Gitman (2010)	Possibilidades de prejuízos acarretados por diversos fatores organizacionais tanto internos quanto externos.
Hagigi e Sivakumar (2009)	A incerteza inerente aos resultados potenciais para uma entidade.
Harland <i>et al.</i> (2003)	Chance de perigo, dano, perda, lesão ou qualquer outra consequência indesejada.

(conclusão)

Autor	Definição
Jüttner <i>et al.</i> (2003)	Variação na distribuição dos possíveis resultados, suas probabilidades e seus valores subjetivos.
Kerzner, (2013)	Constitui a incerteza dos eventos que possam ocorrer no futuro.
Khan e Burnes (2007)	Uma variação na distribuição dos possíveis resultados e as possibilidades de eles ocorrerem
Stoneburner <i>et al.</i> (2002)	Impacto negativo resultante de uma vulnerabilidade, considerando a probabilidade e o impacto do evento
Suter (2006)	A probabilidade de um efeito danoso específico acontecer.
Theodore e Dupont (2012)	Uma medida de perda financeira ou danos às pessoas, em termos da probabilidade de ocorrência de um incidente e da magnitude da perda.

Fonte: O Autor (2018).

Ainda que na literatura existem várias definições do termo risco para cada contexto de aplicação, o conceito básico está associado à presença dos seguintes componentes: a incerteza em um ambiente; a probabilidade de ocorrência de um evento indesejável; ao impacto de suas consequências (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Partindo dessa compreensão, tem-se na literatura da Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) que alguns autores relatam que o risco pode ser decomposto como o produto de dois fatores inter-relacionados: incerteza e impacto (HOLTON, 2004; MILLER, 1992; ZSIDISIN *et al.*, 2005b).

O primeiro, se refere a falta de previsibilidade do ambiente de negócios (JABLONOWSKI, 2006) ou das variações organizacionais que acabam afetando a performance corporativa (JAAFARI, 2001; OSIPOVA; ERIKSSON, 2013), enquanto que o segundo fator é medido através dos possíveis custos ou perdas não previstas, oriundos da interrupção de um determinado evento (ZSIDISIN *et al.*, 2005b).

2.1.1 Categorização dos tipos de riscos

É notório que muitos riscos têm afetado as CS, e que eles podem ser classificados de muitas configurações distintas e de diferentes perspectivas (PECK, 2004). Nesse sentido, vários autores tem proposto formas de se categorizar esses riscos, como por exemplo: no que diz respeito aos fatores de causa e efeito (HALLIKAS *et al.*, 2002); pela relevância em estratégicos, táticos e operacionais (PAULSSON; NORRMAN, 2003); pela ruptura potencial em relação à probabilidade versus consequência (SHEFFI; RICE, 2005); quanto aos riscos serem do tipo financeiros, de caos, de decisão e de mercado (DONATO *et al.*, 2007); base em eventos gerados pelo ambiente interno e externo das CS (TUMMALA; SCHOENHERR, 2011); baseado no

padrão de gerenciamento de risco que incorpora redes de crenças bayesianas para quantificação (avaliação) de riscos (QAZI *et al.*, 2015); entre outras.

Todavia, no intuito de viabilizar uma análise mais abrangente e com base em vários pontos de vista da literatura, utilizou-se como base para esta pesquisa a visão de que os riscos da CS podem ser divididos em duas categorias: macro riscos e micro riscos (HO *et al.*, 2015):

- a) macro riscos: referem-se a eventos ou situações externas adversas e relativamente raras que podem ter um impacto negativo nas empresas. Ou seja, consistem em riscos naturais (por exemplo, terremotos e desastres relacionados ao clima) e riscos causados pelo homem (por exemplo, guerra e terrorismo e instabilidade política);
- b) micro riscos: referem-se a eventos relativamente recorrentes originados diretamente de atividades internas de empresas e/ou relacionamentos dentro de parceiros em toda a CS.
 - O presente estudo tomou como base esta categoria em função dela está relacionada à fatores que podem ser mitigados pelas empresas, diferentemente do macro risco que se relaciona com fatores que não estão sob controle das organizações.

2.2 Gestão de riscos

As CS envolvem uma multiplicidade de áreas e participantes, o que as tornam mais vulneráveis às influências de fatores, tanto endógenos como exógenos (GUO, 2011), a exemplo do aumento da interdependência dos mercados provocada pelo desenvolvimento da globalização e da velocidade com que movimentações competitivas se propagam.

Por esse motivo e devido ao fato de incluir não apenas o elo central, como também todos os parceiros, a montante e a jusante da cadeia, o GR torna-se complexo nesse ambiente (CHOPRA; SODHI, 2004).

Dessa forma, a probabilidade de não alcançar o desempenho esperado tende a aumentar, principalmente devido ao risco de falhas (TUMMALA; SCHOENHERR, 2011). Com isso, tem-se demonstrado ser uma preocupação crescente por parte dos gestores a busca por planos de contingência para melhor gerenciar as rupturas na cadeia, de modo a evitar que venham a prejudicar os negócios (CAVINATO, 2004).

Logo, nota-se uma necessidade por um foco mais holístico para os riscos envolvidos, no intuito de compreender melhor as circunstâncias que acarretam em problemas para os diversos

atores da cadeia, que compartilham tanto benefícios como ameaças de uma operação conjunta (JUNIOR *et al.*, 2014).

Nesse contexto, a percepção do conceito da GR e de seus desdobramentos tem-se tornado ainda mais fundamental e útil para que as empresas busquem aperfeiçoar suas competências. Becker e Smidt (2016) confirmam que tem ocorrido uma impulsão para o emprego e a implementação desse tipo de gestão no propósito de evitar perdas, principalmente financeiras e aumentar a segurança de resultados bem-sucedidos.

Por este motivo, com relação a concepção da GR, tem-se que a mesma pode ser entendida como sendo um processo estruturado que visa integrar continuamente a identificação, avaliação e monitoramento de todas as fontes potenciais de risco (BAKER *et al.*, 1999; MABROUKI *et al.*, 2014; ZAFEIROPOULOS *et al.*, 2005), além da análise para se estabelecer mecanismos de controle e adoção de procedimentos de intervenção, no caso de um evento ocorrer (RAZ *et al.*, 2002).

Portanto, a GR deve ser empregada como um processo contínuo e em constante desenvolvimento dentro das empresas, de forma que se possa analisar criteriosamente todos os riscos inerentes às atividades realizadas e procurar integrá-la em sua cultura organizacional (JUNIOR *et al.*, 2014).

2.2.1 Processo de gestão de riscos

Após ter sido explicitado o contexto da GR, evidencia-se então a necessidade no que se refere ao entendimento do processo de gerenciamento aplicado nas cadeias. Para tanto, verifica-se nos estudos de Oliveira *et al.* (2017) e Tomas e Alcantara (2013), que vários autores já propuseram modelos para esse tipo de processo na literatura, a exemplo de: Harland *et al.* (2003); Jüttner *et al.* (2003); Hallikas *et al.* (2004); Norrman e Jansson (2004); Shi (2004); Kleindorfer e Saad (2005); Zeng *et al.* (2005); Zsidisin *et al.* (2005a); Faisal *et al.* (2006); Wu *et al.* (2006); Cohen e Kunreuther (2007); Gaonkar e Viswanadham (2007); Khan e Burnes (2007); Ritchie e Brindley (2007); Manuj e Mentzer (2008); Wagner e Bode (2006); Matook *et al.* (2009); Oehmen *et al.* (2009); Jia e Rutherford (2010); Pfohl *et al.* (2010); Tuncel e Alpan (2010); Blome e Schoenherr (2011); Giannakis e Louis (2011); Guo (2011); Singhal *et al.* (2011); Tummala e Schoenherr (2011); Kern *et al.* (2012); Lavastre *et al.* (2012); Elleuch *et al.* (2014); e Rangel *et al.* (2015).

No entanto, Zsidisin e Ritchie (2008) advertem que esses processos podem se diferenciar em relação as etapas que os compõem. Para Shi (2004), por exemplo, o processo de gerenciamento consiste basicamente em três componentes: i) Identificação; ii) Caracterização

dos riscos; iii) Formulação de estratégia para a GR. Já para Hallikas *et al.* (2004) e, de forma semelhante, para Tummala e Schoenherr (2011), esse procedimento envolve quatro etapas: i) Identificação dos riscos; ii) Avaliação dos riscos; iii) Escolha e implementação de ações para reduzir a probabilidade de riscos e minimizar os efeitos se ocorrerem; iv) Monitoramento de riscos.

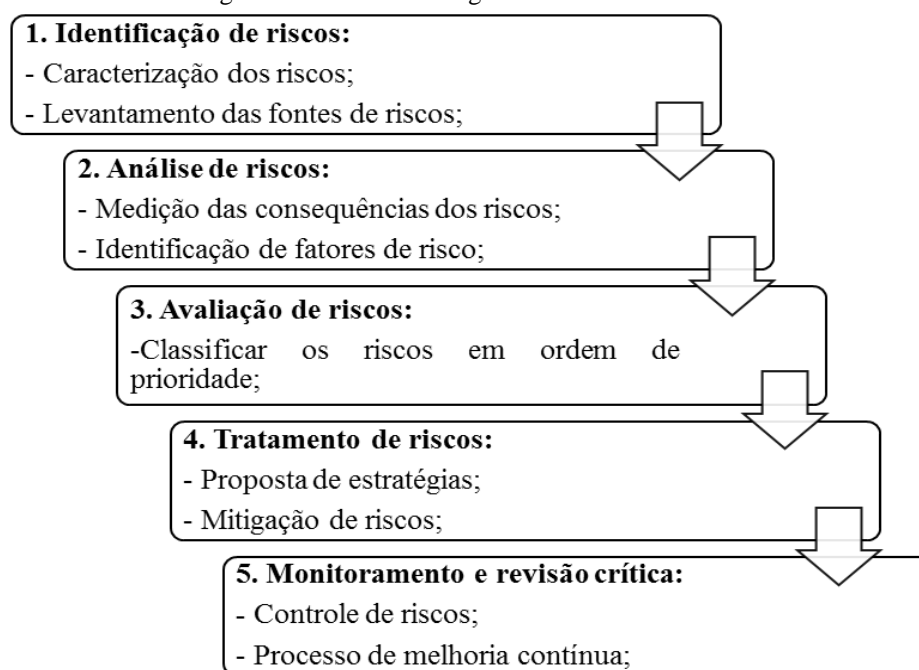
Conforme Mullai (2009), tem-se que a variação acerca das etapas que compõem os processos de GR nas CS, existentes na literatura, pode ser atribuída a fatores como:

- a) influência de diferentes contextos (como por exemplo: políticos, econômicos e sociais, etc.) na percepção dos autores acerca dos riscos;
- b) diferentes necessidades, a respeito dos riscos, por segmentos distintos.

Contudo, conforme expõe Faisal *et al.* (2006), os diversos processos de GR nas CS que existem na literatura não são excludentes, eles se complementam no que diz respeito as proposições para a proteção e resposta das CS aos riscos.

Deste modo, com base no estudo proposto por Oliveira *et al.* (2017), o qual consolida as fases e construções propostas pelos vários autores que estudaram as etapas e procedimentos do GR nas CS, pode-se verificar, ignorando as diferentes variações nos nomes dados a cada uma dessas etapas expostas na literatura, um processo sistemático consistindo em cinco componentes, conforme ilustrado na Figura 1:

Figura 1 – Procedimento geral da Gestão de Riscos



Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Oliveira *et al.* (2017).

Apesar dessa apresentação sistemática do processo de GR nas CS, tem-se que grande parte das organizações ainda continua a fazer uso de práticas reativas e não estruturadas (CHOUDHRY; IQBAL, 2013). Nesse sentido, o processo de GR deve ser visto como um meio de desenvolvimento e aprimoramento das CS, que deve ser acrescido de uma estrutura associada a ferramentas e sistemas que possibilitem a análise e otimização dos objetivos estratégicos (JAAFARI, 2001).

Para tanto, na literatura tem-se menção a diversas ferramentas e sistemas que auxiliam na GR das CS, a exemplo da norma NBR ISO 31010:2012 que de modo mais abrangente lista mais de 30 técnicas e ferramentas diferentes, as quais são compreendidas e aplicadas nas três principais dimensões do processo de GR (identificação, análise e avaliação de risco).

Entretanto para um método ser útil, independente do contexto, o mesmo deve ser acessível e proporcional à natureza dos processos, cultura e outros aspectos ligados a organização (Damanab *et al.*, 2015).

Dessa forma, com base no trabalho de Oliveira *et al.* (2017), tem-se destaque para seis ferramentas de maior empregabilidade, levando em consideração a percepção de um conjunto de decisores com experiência em Engenharia Industrial: 1) Análise de custo/benefício; 2) *Business Impact Analysis* (BIA); 3) Análise de cenários; 4) Avaliação de risco ambiental; 5) *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA); e 6) Análise de causa e consequência.

Sendo que dessas ferramentas, a FMEA tem demonstrado ser um método de análise de riscos bem aceito devido a sua viabilidade e aplicabilidade (CARLSON, 2012; KIRAN, 2017; NARAYANAGOUNDER; GURUSAMI, 2009), e além disso se revela como sendo uma das ações preventivas iniciais mais importantes no sistema, design, processo ou serviço, o que impedirá que falhas e erros ocorram e atinjam o cliente (LIU *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2009).

2.3 Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA)

Conforme expõe Bowles (2003), em qualquer tipo de empreendimento percebe-se que não se pode dispensar a capacidade de medir e quantificar os atributos de um determinado item, caso seja necessário entender e prever o comportamento deste item em questão.

Nesse contexto, um item abordado no âmbito da CS que precisa ser melhor avaliado e compreendido refere-se as falhas, as quais podem ser definidas como as formas pelas quais um componente, um sistema ou um processo pode potencialmente não obter êxito no cumprimento de sua intenção dentro de um projeto (LIU *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2009).

Portanto, nessa conjuntura, tem-se que a FMEA se refere ao método mais empregado para prognosticar modos de falha (KIRAN, 2017; LAURENTI *et al.*, 2012). Quanto a sua descrição,

refere-se a uma técnica de engenharia amplamente utilizada para definir, identificar e eliminar modos de falha conhecidos e/ou possíveis (STAMATIS, 2003).

Complementando essa definição, tem-se que ela pode ser vista também como sendo uma técnica que é usada para melhorar a confiabilidade e segurança de sistemas complexos e reunir os dados necessários para decidir sobre como gerenciar os riscos (CHANG, 2009; DAMANAB *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2013).

Assim sendo, pode-se discriminar que o objetivo do FMEA se refere a determinar possíveis modos de falha, avaliar as causas e os efeitos desses diferentes modos no sistema do qual o item faz parte, e determinar o que poderia eliminar ou reduzir a chance de falha (BOWLES, 2003; LIU *et al.*, 2013), atribuindo recursos limitados aos itens de risco mais graves (CHANG, 2009).

2.3.1 Processo de análise de criticidade da FMEA

A maioria dos métodos FMEA, tradicionalmente, empregam o valor do *Risk Priority Number* (RPN ou Número de Prioridade de Risco) para avaliar o risco dos modos de falha (CHANG, 2009; LIU *et al.*, 2013).

O sistema de avaliação típico da metodologia RPN utiliza para determinar a criticidade de um modo de falha de um item os seguintes parâmetros: a severidade (S), a probabilidade de ocorrência (O) e a dificuldade de detecção (D) (BOWLES, 2003; GARCIA, 2013; LIU *et al.*, 2013; NARAYANAGOUNDER; GURUSAMI, 2009; WANG *et al.*, 2009).

Esses três fatores de risco são avaliados utilizando termos linguísticos de acordo com escalas de medida ordinais (CHANG, 2009; NARAYANAGOUNDER; GURUSAMI, 2009), onde os índices acabam variando em uma escala numérica inteira de 1 a 10 (BOWLES, 2003; CHANG, 2009; WANG *et al.*, 2009), ou, em alguns casos, podem estar variando também em uma escala de 1 a 5, em que quanto maior o índice, pior a situação (GARCIA, 2013).

O valor RPN de um modo de falha é obtido através do produto desses três parâmetros, conforme Equação 1 (BOWLES, 2003; CHANG, 2009; LIU *et al.*, 2013; NARAYANAGOUNDER; GURUSAMI, 2009; WANG *et al.*, 2009).

$$RPN = S * O * D \tag{1}$$

Deste modo, o nº do RPN pode não desempenhar um papel importante na escolha de uma ação contra os modos de falha, mas ajudará a indicar os valores de limiar para determinar as áreas de maior concentração (KIRAN, 2017).

Ou seja, ele é então usado para identificar os modos de falha mais críticos que necessitam de ações prioritárias para melhoria (BOWLES, 2003; CHANG, 2009; PALADY, 2004), de tal

forma que o modo de falha que tiver um número elevado de RPN deve receber a maior prioridade na análise e ação corretiva (BOWLES; PELÁEZ, 1995; CHANG, 2009; KIRAN, 2017; LIU *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2009).

2.3.2 Deficiências no processo tradicional da FMEA

Desde a sua introdução em 1949, pelo Exército dos EUA, a FMEA foi bastante empregada, apresentando resultados bem consistentes (BOWLES, 2003), além disso foi também muito modificada com padrões e publicações científicas (SPREAFICO *et al.*, 2017).

Embora o método tenha quase 70 anos de idade, mostrando-se bem estabelecido em alguns setores, infelizmente, sob o ponto de vista técnico, ele tem sido criticado extensivamente na literatura, devido ao fato de uma grande variedade de aplicações revelarem que ele ainda apresenta algumas fraquezas e limitações importantes (CÂNDEA *et al.*, 2014; LIU *et al.*, 2013; SPREAFICO *et al.*, 2017).

No intuito de obter uma visão geral dos problemas que afetam a FMEA, tem-se na Figura 2, conforme retrata Liu *et al.* (2013) em seu trabalho de revisão da literatura, as principais deficiências das abordagens de avaliação dessa ferramenta.

Figura 2 – Principais deficiências do sistema da FMEA por ordem de citação

45 citações	•A importância relativa entre S, O e D não é levada em consideração.
33 citações	•Diferentes combinações de S, O e D podem produzir o mesmo valor de RPN, mas suas implicações podem ser totalmente diferentes.
21 citações	•Os 3 (três) fatores de risco são difíceis de estimar com precisão.
14 citações	•A fórmula matemática para calcular RPN é questionável e discutível.
13 citações	•A conversão de pontuação é diferente para os 3 (três) fatores de risco.
10 citações	•O valor de RPN não é contínuo, apresenta muitos buracos na escala.
10 citações	•As interdependências entre os vários modos de falha não são levadas em consideração.
9 citações	•A forma matemática adotada para o cálculo da RPN é fortemente sensível às variações nas avaliações dos fatores de risco.

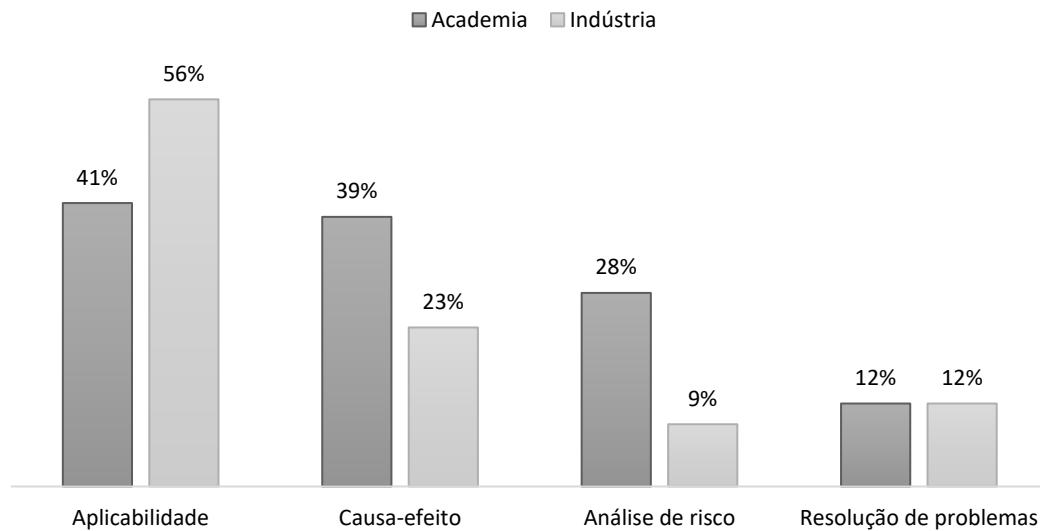
Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Liu *et al.* (2013).

Ainda sobre essa questão das deficiências que afetam a FMEA, Spreafico *et al.* (2017) traz um estudo complementar que analisa os agrupamentos dos problemas, tanto no âmbito da área acadêmica como da área industrial, subdividindo o escopo em quatro classes genéricas: (i) Análise de risco; (ii) Causa-efeito; (iii) Aplicabilidade; (iv) Resolução de problemas.

Dentre essas classes destaca-se, conforme a Figura 3, que a academia está mais interessada na análise de risco (28% dos casos), devido a subjetividade durante a avaliação, e a indústria está mais focada na aplicabilidade, enquanto existem muitas semelhanças para as outras categorias.

Figura 3 – Relevância dos agrupamentos dos problemas da FMEA segundo a academia e a indústria



Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Spreafico *et al.* (2017).

Contudo, percebe-se na literatura que ainda existem muitos pesquisadores, tanto da academia como da indústria, que se dedicam a aprimorar e superar os problemas não resolvidos dessa técnica, independente de que classe ou tipo de problema (SPREAFICO *et al.*, 2017).

2.3.3 Abordagens de melhoria para o processo de análise de criticidade

Na tentativa de superar os problemas ocasionados pelo processo tradicional de análise de criticidade da FMEA, uma série de abordagens têm sido sugeridas na literatura (GARCIA, 2013; LAURENTI *et al.*, 2012; LIU *et al.*, 2013; NARAYANAGOUNDER; GURUSAMI, 2009; WANG *et al.*, 2009).

E com relação a essas abordagens, segundo Liu *et al.* (2013), elas podem ser classificadas em cinco categorias principais, cada uma com suas próprias características, em função dos métodos de priorização do modo de falha, conforme apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 – Classificação das abordagens de melhoria para a avaliação de risco da FMEA

Categorias	Abordagens	Publicações
Métodos de decisão multicritério	ME-MCDM	1 (1,25%)
	Teoria da evidência	2 (2,5%)
	AHP/ANP	4 (5%)
	Fuzzy TOPSIS	1 (1,25%)
	Teoria Grey	7 (8,75%)
	DEMATEL	1 (1,25%)
	Técnica de ordenação Fuzzy intuitivo	1 (1,25%)
	VIKOR	1 (1,25%)
Programação matemática	Programação linear	4 (5%)
	DEA /Fuzzy DEA	3 (3,75%)
Inteligência artificial	Sistema de regras-base	1 (1,25%)
	Sistema de regras-base Fuzzy	29 (36,25%)
	Algoritmo Fuzzy ART	1 (1,25%)
	Mapa cognitivo Fuzzy	1 (1,25%)
Abordagens híbridas/ integradas	Sistema de regras-base AHP-Fuzzy	1 (1,25%)
	Método de ordenação WLSM-MOI-Parcial	1 (1,25%)
	OWGA operador-DEMATEL	1 (1,25%)
	IFS-DEMATEL	1 (1,25%)
	Fuzzy OWGA operador-DEMATEL	1 (1,25%)
	Operador 2-tuple-OWA	1 (1,25%)
	Teoria FER-Grey	1 (1,25%)
	AHP-Fuzzy TOPSIS	1 (1,25%)
ISM-ANP-UPN	1 (1,25%)	
Outras abordagens	Modelo baseado em custos	6 (7,5%)
	Simulação de Monte Carlo	1 (1,25%)
	Conjuntos mínimos de corte (MCS)	1 (1,25%)
	Método de representação booleana (BRM)	1 (1,25%)
	Abordagem Digraph	1 (1,25%)
	Modelo Kano	1 (1,25%)
	Implementação funcional de qualidade (QFD)	2 (2,5%)
	Teoria da probabilidade	1 (1,25%)

Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Liu *et al.* (2013).

Deste modo, complementando essa apresentação, conforme o estudo de Spreafico *et al.* (2017), evidencia-se que várias publicações sugeriram a integração do FMEA com outros métodos e ferramentas, sendo que destas, vale ressaltar que para a análise de risco, a maioria dos casos propõe a integração com métodos matemáticos e estatísticos.

No entanto essas formas de aprimorar a FMEA têm sido baseadas na sua grande maioria através do emprego conjunto da lógica Fuzzy (LIU *et al.*, 2013; SPREADFICO *et al.*, 2017). Assim, chama-se a atenção para a oportunidade de se investigar outras vertentes menos abordadas, como o caso da Teoria da probabilidade, tendo em vista que a mesma permite apurar questões relacionadas à subjetividade e ao consumo de tempo, visto que ela permite reduzir os efeitos dos erros nas medidas dos critérios, permitindo assim simplificar a modelagem e levar em consideração a incerteza inerente à medição (SANT'ANNA, 2012).

2.4 Problemas envolvendo incertezas

Um problema clássico que pode ser enfrentado no cotidiano de qualquer organização se refere a decidir sobre alternativas de ação, as quais envolvem a combinação de múltiplos critérios (ALMEIDA, 2013), e a estrutura básica para o apoio à escolha dessas alternativas, de acordo com o campo da *Multiple-criteria Decision Analysis* (MCDA ou Análise de Decisão Multicritério), consiste em agregar medidas de preferência segundo esses diversos critérios (ALMEIDA, 2013; SANT'ANNA *et al.*, 2016).

Além disso, tem-se que, independentemente, do problema ter sido formulado na mesma configuração, ou em momentos distintos, a solução escolhida pode vir a ser diferente, levando em consideração o mesmo decisor (SANT'ANNA, 2015a).

Logo, evidencia-se que a opção por uma alternativa de ação é influenciada por vários fatores, como por exemplo os critérios que são analisados, a importância atribuída a cada um deles, as relações assumidas entre eles, etc. (ALMEIDA, 2013), e além dessas características, as quais podem ser modeladas de forma objetiva, há a dependência também por parte das perturbações subjetivas, relacionadas a sistemas de valores pessoais, que não podem ser determinadas com precisão (CONDE; SANT'ANNA, 2004; SANT'ANNA, 2015a).

Percebe-se assim a dificuldade na quantificação das preferências, tanto em relação aos dados disponíveis sobre o problema – que podem estar sujeitos a oscilações em seus valores, dificultando o tratamento de forma fidedigna (CONDE; SANT'ANNA, 2004) – quanto em relação a uma provável imprecisão – entre as opções segundo cada critério, e entre os critérios (ALMEIDA, 2013; BOTTOMLEY *et al.*, 2000; PÖYHÖNEN; HÄMÄLÄINEN, 2001).

Partindo desse contexto, tem-se a formulação na literatura de um extenso número de trabalhos que abordam, de novas maneiras, as dificuldades associadas pela presença da incerteza na avaliação de critérios em um problema de decisão, a exemplo de: Roy (1968); Saaty (1987); Chen e Hwang (1992); Costa e Vansnick (1995); Greco *et al.* (2006); Abdellaoui *et al.* (2007); Desimpelaere e Marchant (2007); Souza (2007); Birnbaum (2008); Jain e Khare (2010); Krokmal *et al.* (2011); Durbach (2012); Durbach e Stewart (2009); Comes *et al.* (2013); e Mosadeghi *et al.* (2013).

Além das abordagens citadas, Lahdelma *et al.* (1998) e Sant'Anna (2002a) propuseram outras diferentes metodologias de apoio à decisão multicritério para tratar a presença inerente de imprecisões nas avaliações de preferência, baseadas em termos probabilísticos.

Em ambas, para a avaliação da preferência por uma alternativa, deve-se levar em consideração a probabilidade desta alternativa ser escolhida dentre todas as demais (Sant'Anna, 2015a), ou seja, as avaliações segundo cada critério são dadas pela probabilidade da opção ser a de maior preferência (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

No caso do método proposto por Lahdelma *et al.* (1998), resumidamente identificado pela sigla SMAA (*Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis*), tem-se que a avaliação probabilística de acordo com cada critério é complementada através da modelagem estatística do espaço de pesos para os critérios (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

2.5 Composição Probabilística de Preferência (CPP)

No método proposto por pela primeira vez por Sant'Anna (2002a), identificado pela sigla CPP, a avaliação probabilística é feita de forma mais direta, partindo do princípio de que é a probabilidade de escolha por uma alternativa que determina a preferência por aquela opção (SANT'ANNA, 2015b).

De maneira geral, com relação ao respectivo método, para cada critério, efetua-se o cálculo da probabilidade de a alternativa atingir o extremo de excelência (ou de menor preferência), sendo necessária a comparação da alternativa em questão, com todas as outras e não apenas com aquelas de uma fronteira de melhores opções (SANT'ANNA *et al.*, 2012a, 2015a; SOUZA *et al.*, 2016).

A consequência indireta desse fato refere-se à redução da influência de erros aleatórios nas medidas, assegurando dessa forma maior robustez ao resultado e permitindo simplificar a modelagem estatística (CONDE; SANT'ANNA, 2004; SANT'ANNA *et al.*, 2015a). Além disso, o fato de a avaliação estabelecida em termos de probabilidades concentrar a importância nos patamares próximos à fronteira de preferência, ao levar em consideração a posição de todas

as alternativas em todos os critérios, simultaneamente, permite que uma opção seja escolhida, mesmo que nenhum critério, isoladamente, tenha atribuído a máxima preferência (SANT'ANNA, 2004; SANT'ANNA *et al.*, 2015a).

Deste modo, tendo como embasamento a modelagem de avaliações aleatórias contidas nas indicações de preferência, o ponto de partida da CPP é obter uma avaliação inicial das alternativas, a qual pode ser realizada através de uma escala ordinal ou resultante da medida direta de um atributo, para depois, em uma nova avaliação, realizar o cálculo de probabilidades de cada alternativa maximizar (ou minimizar) a preferência, assegurando que qualquer opção tenha alguma chance de ser a melhor (CONDE; SANT'ANNA, 2004).

Assim sendo, a ideia-chave dessa metodologia parte da transformação de cada medida do atributo, usando escalas naturais, em um intervalo de possíveis avaliações (probabilidades de preferência), que podem ocorrer se a alternativa for estudada em análises sucessivas de preferência, tendo como base esse atributo (SANT'ANNA, 2015a).

Por este modo, percebe-se que a vantagem desse tipo de abordagem probabilística parte do fato de que ao efetuar a avaliação em termos de probabilidades, não apenas a fronteira dos melhores desempenhos pode ser tomada como referência, mas também podem ser tomadas regras diferentes para a composição (SANT'ANNA *et al.*, 2011c).

2.5.1 Abordagens da CPP

No que concerne a transformação probabilística proposta por Sant'Anna (2002a), tem-se que na literatura já foram elaboradas algumas variações diferentes para a composição, no que diz respeito ao tipo de aplicação, dentre elas se destaca: CPP-Tri e CPP tradicional.

2.5.1.1 CPP-Tri

A CPP Tricotômica (CPP-Tri) se concentra na alocação das alternativas em classes pré-determinadas por perfis de referência (SANT'ANNA, 2013a). Ou seja, ao invés de efetuar uma ordenação, o foco desse método é a classificação de cada alternativa a uma classe através da comparação de perfis hipotéticos (SILVA *et al.*, 2015).

Na CPP-Tri, tem-se que a composição probabilística é utilizada no intuito de calcular as probabilidades de um vetor de variáveis aleatórias apresentar valores, respectivamente, acima e abaixo daqueles apresentados pelas variáveis aleatórias centradas nos valores dos perfis de referência (SANT'ANNA, 2013a).

Portanto, nesse método há a necessidade de, além da matriz de avaliações de cada alternativa segundo cada critério, uma matriz de perfis representativos das classes (SANT'ANNA *et al.*, 2015a).

Em Sant'Anna (2013a) é detalhado passo a passo, um procedimento de classificação de uma alternativa identificada pelos valores de certo número de atributos ou de avaliações segundo certo número de critérios ou avaliadores.

2.5.1.2 CPP tradicional

A abordagem clássica da composição probabilística possibilita substituir o vetor de medições de um atributo em um conjunto de alternativas, para que um vetor de probabilidades de cada uma dessas alternativas seja o melhor (Sant'Anna, 2015a), ou seja, essa abordagem tem como princípio norteador a transformação de dados, inicialmente tratados de forma determinística, em probabilidades de pertencer à fronteira de eficiência.

Nesta abordagem, normalmente utilizada para problemas de ordenação e escolha, tem-se que a comparação em termos de probabilidades de atingir posições extremas, acaba reduzindo os efeitos dos erros de medida, com isso tem-se a possibilidade de simplificar a modelagem estatística e levar em consideração a incerteza inerente à medição de preferências, sem prejudicar as avaliações finais (CONDE; SANT'ANNA, 2004).

O respectivo método mostra-se bastante útil para o tratamento de dados imprecisos, assumindo a incerteza e outros aspectos subjetivos que inevitavelmente estão presentes nas avaliações de preferência (GAVIÃO *et al.*, 2016a).

Um procedimento para a utilização da CPP tradicional, na avaliação de uma alternativa que possui valores de certa quantidade de atributos, segundo um determinado número de critérios e avaliadores, é detalhado em Sant'Anna (2013b).

2.5.2 Estágios da CPP tradicional

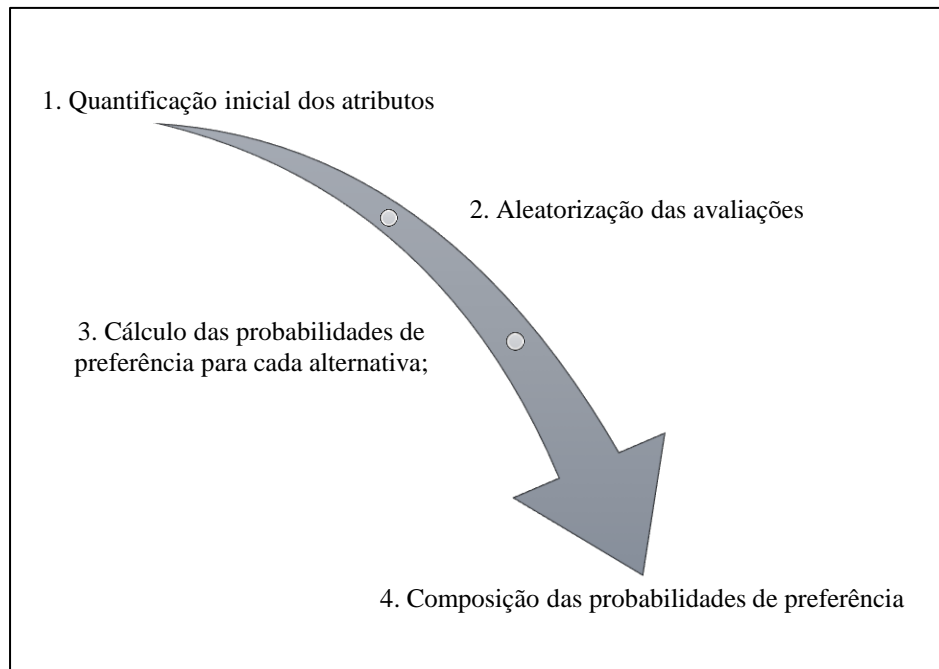
Percebe-se na literatura que a descrição dos estágios da abordagem tradicional se divide em função de seu grau de detalhamento. Em alguns trabalhos, como os de Garcia *et al.* (2015a) e Garcia e Sant'Anna (2015), tem-se de forma bem simplificada que a referida composição se desenvolve em apenas duas partes: i) Calcular a probabilidade de ser a melhor ou a pior opção; ii) Efetuar a composição das preferências probabilísticas.

Já para Gavião *et al.* (2016a, 2016b, 2016c) e Sant'Anna (2015a), há uma expansão na forma de abordar esse procedimento, sendo incrementado a etapa de aleatorização das avaliações na abertura do processo. De forma mais aprofundada, Sant'Anna (2013b) redefine o

processo da CPP tradicional de acordo com cinco estágios, acrescentando uma etapa inicialmente para identificação das opções a serem comparadas, dos critérios de comparação e das variáveis empregadas para representar a avaliação segundo cada critério, além de outra intermediária para a escolha da forma de composição dos critérios.

Contudo, de forma abrangente e estruturada, pode-se tratar que as principais etapas da composição tradicional podem ser resumidas conforme apresentado na Figura 4:

Figura 4 – Etapas genéricas da Composição Probabilística de Preferência



Fonte: O Autor (2018).

Considerando a CPP como um método de apoio a decisão multicritério, já se deve a princípio, identificar as opções que serão analisadas, bem como as variáveis empregadas para representar a avaliação segundo cada critério.

2.5.2.1 *Quantificação inicial dos atributos*

A mensuração das preferências por uma alternativa não necessita obrigatoriamente ser realizada em termos probabilísticos. É notório que para cada critério, existe uma forma mais natural de se comparar uma alternativa em relação as demais, sendo esta forma baseada no valor de um atributo medido de maneira exata em termos de quantidade, peso, custo, velocidade, etc. (SANT'ANNA, 2004, 2015a), ou seja, qualquer forma de medição pode ser utilizada para a obtenção das avaliações iniciais.

Contudo, em se tratando de um procedimento que busca uma comparação entre as alternativas a fim de gerar um ranking de opções ou até mesmo a seleção de uma opção, o manuseio de dados avaliados na mesma escala, facilita as comparações.

Assim, apesar do procedimento de transformação probabilística possibilitar a uniformização da escala, fazer uso de uma regra geral para a formulação das avaliações iniciais, colabora ainda mais para a sistemática do processo.

Dessa forma, para o estabelecimento de uma regra geral, tem-se que uma prática bastante viável no que diz respeito as avaliações iniciais referem-se ao emprego de uma escala de *Likert* (SANT'ANNA, 2004). Nesta escala ocorre a conversão da avaliação verbal para uma numérica, associando-se a cada uma das posições uma pontuação específica (SANT'ANNA; JÚNIOR, 2010).

2.5.2.2 *Aleatorização das avaliações*

Na composição probabilística não se trata o valor inicial de um atributo como uma medida de preferência definitiva, ao invés disso, tem-se que esse valor sinaliza a posição do parâmetro de localização de uma distribuição de probabilidade da preferência, a qual ocorreria se o valor desse atributo fosse observado sob idênticas circunstâncias em uma série de avaliações ao longo do tempo (SANT'ANNA, 2014, 2015a).

Para a obtenção dessas distribuições probabilísticas, tem-se a introdução da aleatoriedade através da adição de distúrbios com valores esperados nulos aos valores iniciais, o que configura esses valores como sendo parâmetros de localização de uma distribuição, ou seja, uma medida de tendência central, como a média, a moda ou a mediana (SANT'ANNA, 2015a; SANT'ANNA *et al.*, 2015a).

Assim, essa associação à uma distribuição de probabilidade significa que cada valor observado representa uma posição em torno da qual o atributo medido varia (SANT'ANNA, 2014, 2015a).

Nesse sentido, nesta etapa assume-se então uma “família” de distribuições, que melhor aderem à natureza do problema (GAVIÃO *et al.*, 2016b), sendo que a escolha dessa função probabilística, pode advir de informações a priori (GAVIÃO *et al.*, 2016c), como também pode ser decorrente do uso de métodos estatísticos para o ajuste dos dados (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2014). Outra forma também se refere a efetuar a simulação dos dados, com base na distribuição empírica que descreva o comportamento das variáveis (GAVIÃO *et al.*, 2016b).

As distribuições de probabilidades comumente utilizadas na literatura da CPP, a depender das particularidades de cada caso a ser empregado, são apresentas na Tabela 3:

Tabela 3 – Panorama das distribuições empregadas na CPP tradicional

Distribuição	Autoria
Beta	Sant'Anna <i>et al.</i> (2015a, 2015b)
	Souza <i>et al.</i> (2016)
Empírica	Gavião <i>et al.</i> (2016a, 2016c)
	Letta <i>et al.</i> (2016)
Normal	Sant'Anna (2004, 2005)
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2012b, 2014)
	Silva <i>et al.</i> (2015)
Pareto	Almeida e Sant'Anna (2009)
	Sant'Anna e Mello (2012)
Triangular	Conde e Sant'Anna (2004)
	Sant'Anna (2010, 2012, 2013a, 2014, 2015a)
	Sant'Anna e Junior (2010)
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2011a, 2011b, 2012a, 2014)
	Garcia <i>et al.</i> (2015a)
Uniforme	Garcia e Sant'Anna (2015)
	Gavião <i>et al.</i> (2016b, 2017a, 2017b, 2017c)
	Sant'Anna (2002a, 2002b)
	Conde e Sant'Anna (2004)
	Almeida e Sant'Anna (2009, 2011)
	Sant'Anna e Conde (2011)

Fonte: O Autor (2018).

Outro quesito que deve ser levado em consideração na escolha das distribuições se refere à dependência (ou não) da perturbação no valor observado para o atributo. Tem-se que para a abordagem básica, deve-se modelar o elemento aleatório como decorrente de erros de medida identicamente distribuídos, gerando dessa forma uma distribuição simétrica em torno do parâmetro de localização (SANT'ANNA, 2015a).

No entanto, em se tratando de uma análise mais realista, pode-se fazer com que as dispersões dependam da localização, no intuito de compensar um provável desvio excessivo na medição inicial. Essa redução na importância de valores não observados em um dos possíveis extremos pode ser efetuada, por exemplo, empregando distribuições triangulares assimétricas, as quais detenham de uma inclinação mais acentuada no lado onde o extremo está mais próximo

e um declínio mais suave para o lado onde o extremo está mais distante, isso mediante o uso da escala de *Likert*, adotando extremos em 0 e 10, para a escala de nove níveis, e em 0 e 6, para a escala de cinco níveis (CONDE; SANT'ANNA, 2004; SANT'ANNA, 2015a).

Alternativamente, para essa compensação pode-se utilizar diferentes extremos para os vários critérios, ou seja, supondo que o vetor de valores observados para o *j*-ésimo atributo é representado por $(O_{1j}; \dots; O_{ij})$, os extremos para as distribuições serão então fixados em: $O_{0j} = \min \{O_{1j}; \dots; O_{ij}\} - 1$ e $O_{(i+1)j} = \max \{O_{1j}; \dots; O_{ij}\} + 1$ (SANT'ANNA, 2015a).

2.5.2.3 Cálculo das probabilidades de preferência para cada alternativa

Após ter associado para a avaliação de cada opção, uma distribuição de probabilidade, tem-se que a medida de preferência para a *i*-ésima alternativa será dada em função da probabilidade de que o valor obtido para a *i*-ésima distribuição seja maior (ou menor) do que todos os outros valores, tomando como base uma amostra constituída pela realização aleatória de cada uma das distribuições (SANT'ANNA, 2015a).

Isto pode ser posto formalmente da seguinte forma: seja X_i as variáveis aleatórias associadas a cada valor de preferência atribuído à opção, por um dado critério, necessita-se avaliar, para cada X_i , a $\text{Prob}(X_i \geq X_1, X_2, \dots, X_n)$ e, também, a $\text{Prob}(X_i \leq X_1, X_2, \dots, X_n)$, com '*i*' sendo o número de opções (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Deste modo, a transformação em probabilidades de a alternativa ser a melhor (ou a pior) acaba trazendo um benefício adicional, referente ao aumento da distância entre as alternativas mais importantes, além do benefício inerente ao tratamento das incertezas (SANT'ANNA, 2015a).

Portanto, nessa etapa deve-se realizar o cálculo de dois índices específicos (GARCIA *et al.*, 2015b; GAVIÃO *et al.*, 2016a, 2016b):

- a) Probabilidade de preferência máxima (M_{ij}): a probabilidade de a alternativa '*i*' apresentar um valor superior em relação às demais, combinando as preferências obtidas para cada critério '*j*', em que '*j*' varia de 1 a '*J*';
- b) Probabilidade de preferência mínima (m_{ij}): a probabilidade de a alternativa '*i*' apresentar um valor inferior em relação às demais, para cada critério '*j*'.

O desenvolvimento matemático desse contexto resulta nas Equações (2) e (3) (GAVIÃO *et al.*, 2016a, 2016b, 2016c; OLIVEIRA *et al.*, 2012; SANT'ANNA *et al.*, 2011b):

$$M_{ij} = \int_{D_{X_i}} \left[\prod_{j \neq i} F_{X_j}(x_j) \right] f_{X_i}(x_i) dx_i \quad (2)$$

$$m_{ij} = \int_{D_{X_i}} \left[\prod_{j \neq i} (1 - F_{X_j}(x_j)) \right] f_{X_i}(x_i) dx_i \quad (3)$$

Onde, para as referidas Equações, tem-se que F_{X_j} , f_{X_i} e D_{X_i} são, respectivamente: A função distribuição cumulativa da variável X_j , que representa as demais alternativas sob o mesmo critério, à exceção da variável X_i considerada no cálculo; a função densidade de probabilidade e o suporte da variável aleatória X_i (GAVIÃO *et al.*, 2016a, 2017a; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

2.5.2.4 Composição das probabilidades de preferência

A composição dos índices, preferência máxima (M_{ij}) e mínima (m_{ij}), em escores de preferência global, define a fase final da metodologia da CPP. Nesse sentido, diferentes cálculos podem ser utilizados para efetuar a combinação das probabilidades de preferência, de acordo com todos os critérios, em uma pontuação única de preferência (LETTA *et al.*, 2016; SANT'ANNA, 2015a).

Dentre elas, a forma mais clássica para a composição de critérios, a qual foi desenvolvida por Keeney e Raiffa (1993), refere-se à elicitación de constantes de escala para os critérios e obtenção de pontuações finais resultantes da soma ponderada das medidas de preferências (SANT'ANNA, 2004, 2015a).

Nesta forma de composição deve-se tratar as probabilidades M_{ij} e m_{ij} , de acordo com cada critério, como preferências condicionadas à preferência por tal critério, ou seja, a chance de um critério ser escolhido depende da importância que o decisor quer dar a ele. Assim sendo, a probabilidade de uma alternativa ser escolhida é determinada como sendo uma média ponderada das probabilidades condicionais, onde os pesos empregados nesta média referem-se as probabilidades marginais dos eventos de condicionamento, os quais representam às preferências pelos critérios (SANT'ANNA; CONDE, 2011).

Neste caso da forma clássica para a composição, necessita-se apenas ser levadas em consideração, na determinação da distribuição de pesos entre os critérios, as prováveis correlações entre os eventos correspondentes a serem preferidos pelos diferentes critérios, isto é, a probabilidade de cada critério ser escolhido deve reduzir a probabilidade de escolher todos os outros positivamente correlacionados com ele (SANT'ANNA, 2015a).

Todavia, não é simples formular o problema desta maneira, pois, independentemente, do fato de as preferências numéricas serem obtidas para os critérios, a determinação de pesos para a média ponderada é ineficiente, podendo ser distorcida pelas interações entre critérios (OLIVEIRA *et al.*, 2012; SANT'ANNA, 2015a).

Uma outra forma para a composição de critérios destaca a necessidade de considerar a possível presença de correlações, neste caso, ao contrário do uso aditivo de uma distribuição de probabilidade para os critérios conforme proposto por Keeney e Raiffa (1993), tem-se a substituição pela integral de Choquet, a qual utiliza uma capacidade para medir de forma mais realista a preferência por qualquer conjunto de critérios, sendo que a determinação desta capacidade também não se configura uma tarefa simples (SANT’ANNA, 2014, 2015a).

Por fim ainda existe uma outra forma de composição das preferências, mais intuitiva e que não depende de ponderar os critérios isolados nem os conjuntos deles, a qual baseia-se em probabilidades conjuntas (GARCIA *et al.*, 2015a; OLIVEIRA *et al.*, 2012; SANT’ANNA, 2015a).

Assim, para derivar as avaliações por probabilidades conjuntas, deve-se analisar dois aspectos principais, segundo Garcia *et al.* (2015b):

- a) a visão adotada pelo decisor para a construção da probabilidade conjunta;
- b) a modelagem conjunta dos distúrbios que afetam as avaliações de acordo com os múltiplos critérios.

Com relação ao primeiro aspecto, a depender do enfoque considerado pelo decisor, pode-se utilizar diferentes probabilidades conjuntas. Nesse sentido, tais pontos de vista podem ser discriminados em termos da escolha entre dois pontos de vista, conforme descritos na Tabela 4: otimista versus pessimista; progressista versus conservador (GARCIA *et al.*, 2015b; SANT’ANNA, 2004, 2005; SANT’ANNA; JÚNIOR, 2010).

Tabela 4 – Diferentes orientações para a composição das avaliações probabilísticas

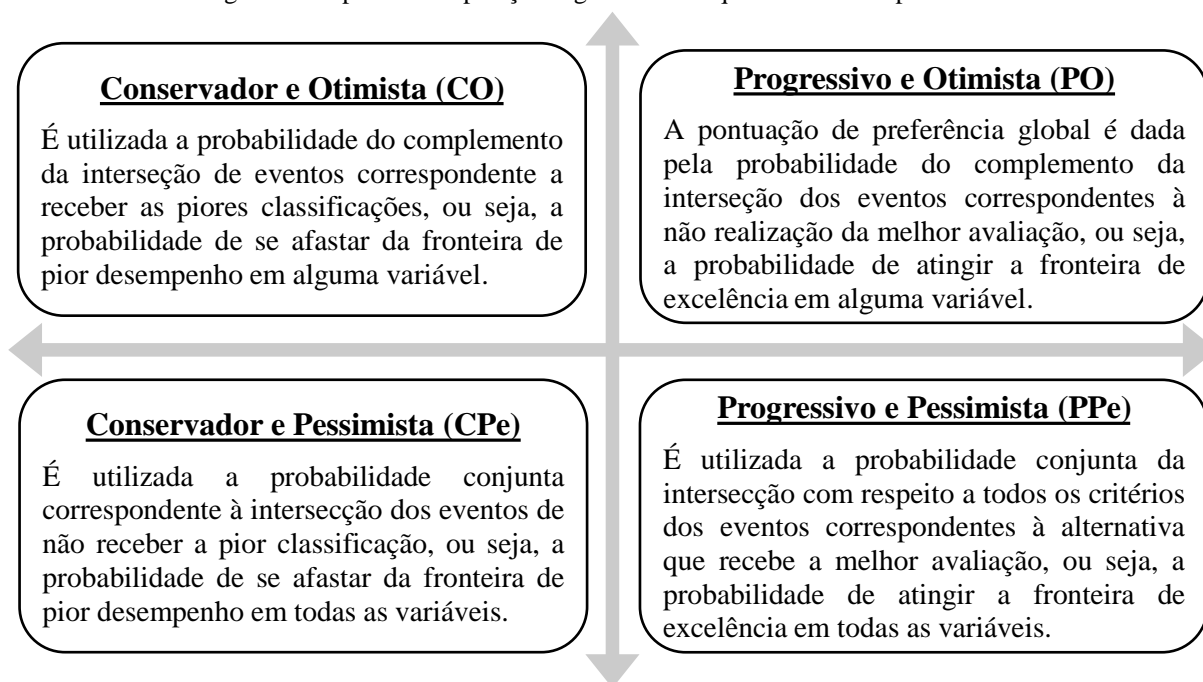
Otimista (O)	Pessimista (Pe)
Considera satisfatório atender a pelo menos um critério.	Busca a otimização de acordo com todos os critérios.
Faz uso do conectivo “ou”.	Faz o uso do conectivo “e”.
Progressista (P)	Conservador (C)
Considera as probabilidades de maximizar as preferências.	Considera a preocupação apenas em evitar os extremos negativos; probabilidades de não minimizar as preferências.
Associado à ideia de sempre elevar o nível da satisfação; alcançar padrões mais elevados.	Está relacionado com a ideia de evitar perdas; avesso ao risco; o objetivo é evitar maus desempenhos.

Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Sant’Anna e Conde (2011) e Sant’Anna (2015a).

Com isso, efetuando a combinação das posições nos extremos de cada uma dessas duas orientações, chega-se a quatro tipos de composições (SANT'ANNA, 2004), as quais podem ser consideradas para o cálculo das probabilidades conjuntas, de acordo com os pontos de vista selecionados pelo decisor para o problema a ser estudado, conforme Figura 5 (SANT'ANNA, 2015a; SANT'ANNA *et al.*, 2012b).

Figura 5 – Tipos de composição segundo o enfoque considerado pelo decisor



Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Sant'Anna (2015a) e Sant'Anna et al. (2012b).

Sendo que a aplicação desses pontos de vista independe das preferências existentes entre os critérios, visto que todos eles podem ser tratados sem distinção de importância (SANT'ANNA, 2004).

Logo, a combinação dos numerosos cenários, mediante esses enfoques em conjunto com os critérios analisados, torna esse método probabilístico um mecanismo robusto no apoio à decisão multicritério (CONDE; SANT'ANNA, 2004).

2.5.3 Pressuposto da probabilidade conjunta sobre a correlação

Algumas suposições podem auxiliar no tratamento das distribuições conjuntas das variáveis aleatórias. Entre estas, um aspecto a ser levado em consideração refere-se a modelagem da correlação entre distúrbios que afetam as avaliações de acordo com diferentes critérios (SANT'ANNA, 2002a, 2015a).

Caso essa correlação possa ser efetivamente quantificada, a mesma pode ser introduzida no cálculo das probabilidades conjuntas (OLIVEIRA *et al.*, 2012; SANT'ANNA, 2015a). Diante disso, na falta de uma forma para calcular diretamente essas interações, uma abordagem que pode ser utilizada refere-se ao cálculo das probabilidades conjuntas sob a hipótese de independência e de dependência máxima, entre todos os eventos do mesmo tipo, ou seja, de acordo com o mesmo ponto de vista (GAVIÃO *et al.*, 2017a; SANT'ANNA, 2015a), conforme Tabela 5, onde tem-se que “*min*” se refere ao mínimo e “*max*” significa o máximo.

Tabela 5 – Resultado dos diferentes enfoques sob as hipóteses de máxima dependência e independência

Pontos de vista	Hipótese de independência	Hipótese de máxima dependência
Conservador/Otimista (CO _i)	$1 - \prod_{j=1, \dots, m} m_{ij}$	$1 - \min m_{ij}^{**}$
Conservador/Pessimista (CPE _i)	$\prod_{j=1, \dots, m} (1 - m_{ij})$	$1 - \max m_{ij}$ ou $\min(1 - m_{ij})$
Progressivo/Otimista (PO _i)	$1 - \prod_{j=1, \dots, m} (1 - M_{ij})$	$\max M_{ij}^*$
Progressivo/Pessimista (PPE _i)	$\prod_{j=1, \dots, m} M_{ij}$	$\min M_{ij}$

* Esta fórmula decorre do fato de que o evento ser preferido de acordo com pelo menos um critério é o complemento da intersecção dos eventos de não ser preferido: $1 - \min(1 - M_{ij}) = 1 - (1 - \max M_{ij}) = \max M_{ij}$

** Isto decorre do fato de que não ser o pior por pelo menos um critério é o complemento de ser o pior por todos eles.

Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Sant'Anna (2015a) e Gavião et al. (2017a).

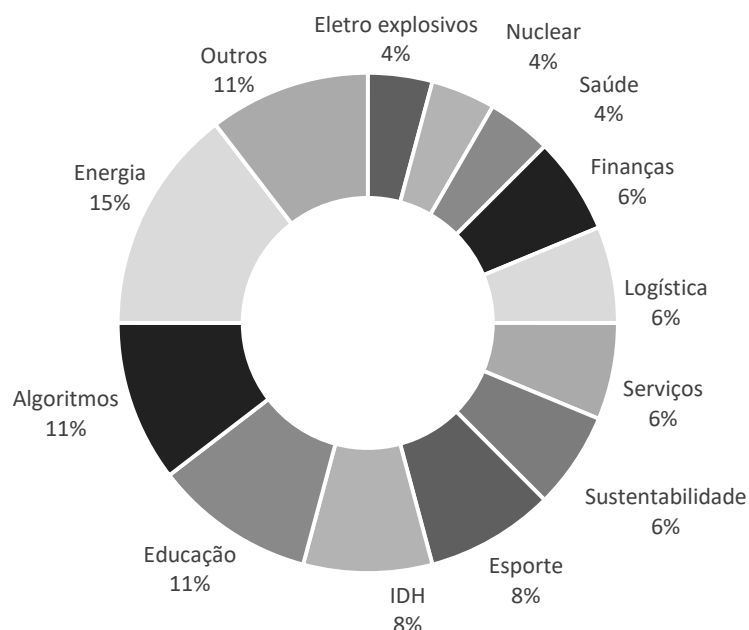
Portanto, se houver uma diferença significativa entre os escores globais obtidos assumindo a independência e dependência máxima, deve ser realizada uma investigação no intuito de buscar a determinação do efeito de níveis intermediários de dependência (SANT'ANNA, 2015a).

Já se não houver uma diferença significativa, e com isso não existir razões para considerar a correlação, deve-se utilizar a suposição de independência, haja vista que ela utiliza mais informações, devido ao fato de envolver o cálculo do produto dos valores exatos dos fatores (SANT'ANNA, 2015a).

2.6 Abordagens da CPP tradicional

No que diz respeito as aplicações da CPP tradicional encontradas na literatura, foi possível comprovar que a mesma já foi empregada nas mais variadas áreas do conhecimento para apoiar a tomada de decisão em problemas tanto de ordenação quanto de escolha, conforme categorizados na Figura 6. Os trabalhos que possuíam apenas uma publicação por área foram categorizadas como “Outros”.

Figura 6 – Publicações da CPP tradicional na literatura divididas por área de atuação



Fonte: O Autor (2018).

Com base na análise das áreas de aplicação acima expostas, percebe-se que mais da metade ($\pm 53\%$) delas se concentram em apenas cinco categorias (Energia, Algoritmos, Educação, IDH e Esporte), refletindo assim as temáticas mais empregadas da metodologia da CPP na literatura nos últimos 15 anos.

Diante desse cenário, da quantificação das publicações por área, tem-se na Tabela 6 de forma mais detalhada o teor de cada aplicação encontrada literatura, ressaltando assim os aspectos analisados em cada caso.

Tabela 6 – Detalhamento das publicações da CPP tradicional na literatura

(continua)

Área	Autoria	Descrição
EED ¹	Letta <i>et al.</i> (2016)	Análise de risco de operações em instalações especiais com aplicação da composição probabilística de preferências.
	Silva <i>et al.</i> (2015)	Aplicação da composição probabilística de preferência na priorização de cenários críticos de riscos.
Nuclear	Garcia <i>et al.</i> (2014)	<i>Probabilistic preferences composition for failure mode prioritization in FMEA.</i>
	Garcia <i>et al.</i> (2015b)	<i>Combined use of composition of probabilistic preferences and entropy weighting for failure mode prioritization.</i>
Saúde	Moreira e Sant'Anna (2010)	Análise de eficiência em tratamentos cirúrgicos em período de mudança tecnológica.
Saúde	Sant'Anna e Oliveira (2003)	Complementando DEA com o cálculo probabilístico de produtividades globais na comparação de desempenhos em um segmento do setor público.
Finanças	Sant Anna <i>et al.</i> (2011a)	Comparação entre métodos multicritério em um modelo para avaliação da qualidade de ativos de renda variável.
	Sant Anna <i>et al.</i> (2011d)	<i>Probabilistic composition for fast group decisions.</i>
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2012a)	Avaliação do desempenho de empresas utilizando a composição probabilística de índices financeiros.
Logística	Caillaux <i>et al.</i> (2011)	<i>Container logistics in Mercosur: choice of a transshipment port using the ordinal Copeland method, data envelopment analysis and probabilistic composition.</i>
	Garcia e Sant'Anna (2015)	<i>Vendor and logistics provider selection in the construction sector a probabilistic preferences composition.</i>
	Garcia <i>et al.</i> (2015a)	<i>Application of the composition of probabilistic preferences in modal choice for freight.</i>
Serviços	Almeida e Sant'Anna (2009)	Composição probabilística na avaliação do risco de operadoras de planos de assistência à saúde.
	Conde e Sant'Anna (2004)	Composição probabilística na avaliação de <i>call centers</i> .
	Sant'Anna e Conde (2011)	<i>Probabilistic comparison of call centers in a group decision process.</i>
Sustentabilidade	Gavião <i>et al.</i> (2016c)	Ordenação de municípios por potencial de contaminação de águas com fármacos oncológicos por composição probabilística de preferências.
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2014)	<i>Comparison of sustainability indices applied to the electrical sector in Brazil.</i>
	Souza <i>et al.</i> (2016)	<i>Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil.</i>

(continuação)

Área	Autoria	Descrição
Esporte	Gavião <i>et al.</i> (2017b)	A composição probabilística de preferências com medidas de desigualdade: correlações com os pontos de vista progressista e conservador.
	Gavião <i>et al.</i> (2017c)	Uma nova abordagem aplicada ao conceito <i>Moneyball</i> com apoio da composição probabilística de preferências.
	Principe <i>et al.</i> (2017)	<i>Multicriteria analysis of football match performances: composition of probabilistic preferences applied to the English premier league 2015/2016.</i>
	Sant'Anna e Gomes (2003)	<i>New evidence on 'the formation of preferences of betters in horse races.</i>
IDH	Sant'Anna (2014)	Alternativas probabilísticas para a composição do indicador de desenvolvimento humano.
	Sant'Anna (2015b)	<i>Probabilistic human development indices.</i>
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2011a)	<i>Employing the components of the human development index to drive resources to educational policies.</i>
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2017)	<i>A probabilistic approach to the inequality adjustment of the human development index</i>
Educação	Sant'Anna (2002c)	Cálculo probabilístico de produtividades globais no ensino de pós-graduação em engenharia de produção.
	Sant'Anna (2005)	Composição probabilística de critérios na avaliação de cursos.
	Sant'Anna e Paixão (2006)	Avaliação probabilística de otimalidades aplicada aos cursos de pós-graduação em engenharia mecânica.
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2011b)	<i>Composition of probabilistic evaluations of preferences: A case of criteria applied to isolated.</i>
	Treinta <i>et al.</i> (2014)	Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão.
Algoritmos	Gavião <i>et al.</i> (2016a)	<i>Assessment of the "Disrupt-O-Meter" model by ordinal multicriteria methods.</i>
	Sant'Anna (2002b)	Cálculo probabilístico de produtividades globais.
	Sant'Anna (2004)	Uma estrutura para análise da composição de preferências.
	Sant'Anna (2010)	<i>Probabilistic composition of criteria for schedule monitoring.</i>

(conclusão)

Área	Autoria	Descrição
Algoritmos	Sant'Anna (2013)	Procedimento de cálculo para a composição probabilística de preferências.
	Sant'Anna e Sant'Anna (2006)	Avaliação probabilística do aproveitamento da localização de usinas hidrelétricas.
Energia	Sant'Anna e Júnior (2010)	Composição probabilística no cálculo das prioridades na FMEA.
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2012b)	Composição probabilística e DEA na avaliação do desempenho sustentável no setor energético.
	Andrade e Sant'Anna (2013)	Composição probabilística e índice de Malmquist para avaliação de eficiência em distribuidoras de energia elétrica.
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2015b)	<i>Beta distributed preferences in the comparison of failure modes.</i>
	Gavião <i>et al.</i> (2016b)	Integrando a simulação de Monte Carlo e a composição probabilística de preferências com distribuições empíricas em problemas de decisão em grupo: aplicação em FMEA.
	Gavião <i>et al.</i> (2017a)	<i>Improving discrimination in efficiency analysis of bioethanol processes.</i>
	Sant'Anna e Abreu (2007)	Um Instrumento para avaliação das igrejas cristãs.
Outros	Sant'Anna e Silva, (2011)	Análise multicritério de materiais para a síntese de catalisadores automotivos.
	Sant'Anna (2012)	<i>Probabilistic priority numbers for failure modes and effects analysis.</i>
	Sant'Anna (2013b)	Procedimento de cálculo para a composição probabilística de preferências.
	Sant'Anna <i>et al.</i> (2014)	<i>Probabilistic composition in quality management in the retail trade sector.</i>

Fonte: O Autor (2018).

Nota: EED¹: Dispositivos eletro explosivos.

Contudo, dentro desse universo dos 48 estudos analisados, chama-se a atenção para um fator bastante recorrente: aplicações da CPP em áreas que envolvam a análise de riscos. Nesse sentido, tem-se que dez desses trabalhos empregaram a CPP sob os critérios da FMEA para análise de riscos: Silva *et al.* (2015), Letta *et al.* (2016), Garcia *et al.* (2014), Garcia *et al.*

(2015b), Sant'Anna; Júnior (2010), Sant'Anna (2012), Sant'Anna (2013b), Sant'Anna *et al.* (2014), Sant'Anna *et al.* (2015b), Gavião *et al.* (2016b).

Deste modo, vale ressaltar que nesse restrito grupo de trabalhos que empregaram conjuntamente a FMEA com a CPP, a minoria – três deles – considerou o uso de um processo de decisão com mais de um decisor, similar ao modelo proposto nesse estudo.

Dentre essas aplicações, uma delas retrata o contexto de transformar as avaliações em medidas de tendência central, simplificando, deste modo, o cálculo dos resultados e a consequente decisão (COUTO; CARVALHO, 2015). Todavia esse contexto pode esconder o real comportamento das variáveis, no que diz respeito a esfera das avaliações, podendo acarretar em prejuízos na abrangência dos resultados.

Outra aplicação, relatada por Gavião *et al.* (2016b), explora o uso de distribuições empíricas para as avaliações dos decisores a partir da ampliação da amostra com simulações de Monte Carlo. Neste trabalho atenua-se o efeito das descontinuidades das distribuições discretas no cálculo do CPP a partir do uso de amostra significativamente maior.

E tem-se ainda um outro tratamento, proposto por Letta *et al.* (2016), o qual utiliza do conjunto de observações que cada decisor oferece para estimar uma distribuição multidimensional para cada vetor, que mede a prioridade de cada modo de falha segundo cada critério. Nesta abordagem, usa-se a distribuição amostral conjunta para se realizar a estimação da distribuição de preferência e evitar, além da formulação de hipóteses quanto a dependência, a prévia definição da forma da distribuição estatística.

Quando comparado as abordagens já discutidas anteriormente, as quais utilizam de uma agregação a partir da visão inicial dos decisores, o modelo proposto neste estudo traz como diferencial a questão de trabalhar com o procedimento de decisão em grupo, utilizando os resultados de priorização dos decisores, mediante o emprego conjunto da abordagem probabilística da CPP com a FMEA, como entrada para o processo de agregação final – mediante o uso do coeficiente de concordância W de Kendall – o qual foca na avaliação de concordância dos resultados das prioridades dos riscos de cada participante.

2.7 Síntese sobre a seção

Nesse capítulo foram apresentados alguns conceitos relevantes, utilizados nesse trabalho, e que servem como um embasamento para a compreensão do uso da CPP na melhoria da gestão de riscos mediante o uso da FMEA, bem como foram realizadas breves revisões da literatura no que concerne alguns dos tópicos mais importantes nessa temática.

Primeiramente, retratou-se que o tema ligado a análise de riscos tem sido utilizado nos mais variados campos de atuação, e no que diz respeito a sua conceituação, apresentou-se uma ampla variedade de definições encontradas na literatura da área.

Na sequência, abordou-se a melhor noção do conceito de risco voltado para o contexto em estudo, e posteriormente retratou-se uma forma de classificar os tipos de riscos. Ao retratar a importância dos riscos, destacou-se a questão de sua avaliação, mediante a percepção do conceito da GR, tendo em vista a vulnerabilidade sofrida através da influência de fatores, tanto endógenos como exógenos nas CS.

Assim sendo, em seguida teve-se o delineamento mais abrangente das visões da Gestão de Risco na Cadeia de Suprimentos (GRCS) e seus desdobramentos, que abrem na sequência a necessidade no que se refere ao entendimento do processo geral de GR nas cadeias.

Todavia, relatou-se que grande parte das organizações ainda continuam a fazer uso de práticas reativas e não estruturadas. Logo, deve ser acrescido a GR uma estrutura associada à ferramentas e sistemas que possibilitem a análise e otimização dos processos.

Nesse ponto, abordam-se as principais ferramentas de maior empregabilidade no processo de GR, com destaque para a FMEA. Assim, em seguida teve-se a exposição do histórico dessa metodologia, bem como o processo de análise de criticidade e suas principais deficiências abordadas na literatura; além da apresentação de algumas abordagens de melhoria para o processo de análise de criticidade da FMEA.

Dentre essas abordagens de melhoria, tem-se destaque para a CPP, de tal modo que em seguida relatou-se todo o contexto que envolve suas características de aplicação e seus tipos de abordagens, onde é abordado seus principais estágios de desenvolvimento e os pressupostos para execução de sua composição.

Para finalizar o referido capítulo, foi levantado os principais trabalhos inseridos na literatura no que diz respeito à aplicação da abordagem clássica da CPP em conjunto com a FMEA para a GR. Tendo como destaque sobre a modelagem conjunta da metodologia da CPP com a análise da FMEA, a qual já vem sendo discutida na literatura, a proposição de uma abordagem mais aprimorada, que leve em consideração o envolvimento de múltiplos decisores em um processo de priorização de riscos.

3 MODELO PROPOSTO

Partindo da premissa de que é possível construir modelos que esclareçam pelo menos parte do comportamento de processos reais, ou que é possível capturar pelo menos parte dos problemas de tomada de decisão encontrados em processos reais (MIGUEL *et al.*, 2012), nesta seção tem-se a descrição do modelo proposto para priorização de riscos em CS, agregando a abordagem da CPP aos critérios da FMEA sob a ótica de múltiplos decisores. Sendo que primeiramente será apresentado a justificativa para a escolha do método multicritério em estudo.

3.1 Justificativa do método

Tendo em vista que se objetiva como consequência desse estudo identificar uma lista de riscos a serem priorizados, com base na análise inicial da FMEA e o envolvimento de múltiplos decisores, um requisito para a escolha do método refere-se a sua capacidade de fornecer um ranking de riscos (alternativas do problema), e que essa ordenação seja construída em função dos piores desempenhos das alternativas em relação a todos os critérios considerados (S, O, D), isto é, o ranking deve obedecer a ideia-base da análise dos riscos de acordo com o cálculo da metodologia do RPN (ver Equação 1).

Deste modo, para o processo de escolha do método multicritério a ser utilizado como apoio para o problema de decisão em questão, o primeiro fator levado em consideração diz respeito ao tipo de problemática (ALMEIDA, 2013), que por se tratar de uma priorização de riscos, está intimamente ligada ao caráter de ordenação.

Outro fator que deve ser analisado para a escolha do método refere-se à racionalidade com a qual o decisor pretende avaliar a situação-problema (ALMEIDA, 2013), ou seja, neste caso exige-se uma abordagem não-compensatória, visto que conforme expõe Palady (2004) não exista a possibilidade de um mau desempenho ser compensado por bom desempenho em algum critério da FMEA.

Além disso há também questões contextuais que podem estabelecer condicionantes para a escolha do método (ALMEIDA, 2013). Neste caso, cabe ressaltar que o método deve ter a capacidade de modelar dados imprecisos e sob contexto de incerteza, o que similarmente ocorre nos julgamentos dos critérios da FMEA.

Dessa forma, levando em conta todos os fatores já destacados, além das publicações dessa vertente sobre os critérios da FMEA na literatura, uma boa opção é a utilização da CPP

desenvolvida por Sant'Anna (2002a), a qual transforma os vetores de avaliações iniciais segundo cada critério em vetores de probabilidades de preferência.

Nesse método aproveita-se o fato de que as avaliações, segundo cada critério da FMEA, serão convertidas para medidas probabilísticas, para desenvolver variadas formas de combinar os critérios sem atribuir, previamente, prioridades entre eles (SANT'ANNA, 2015).

Com isso, a proposição de um modelo geral para avaliação de riscos com base nos critérios da FMEA que leve em consideração possíveis erros de medida aleatórios, acaba gerando medidas que tendem a ser mais confiáveis do que quando comparado com aquelas obtidas por dados determinísticos como tradicionalmente é efetuado na metodologia da RPN.

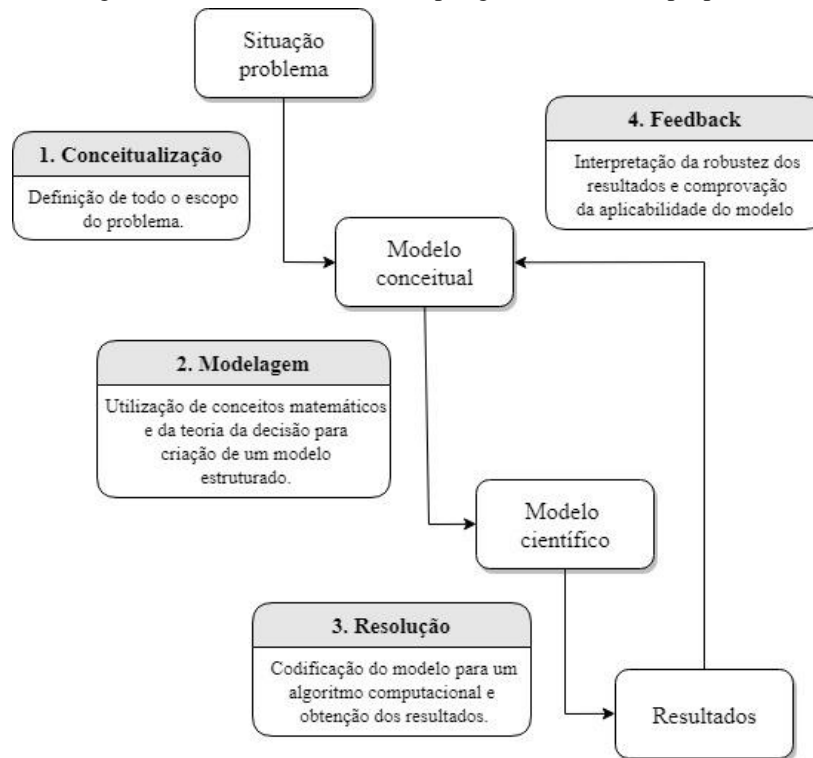
3.2 Descrição do modelo proposto

Na literatura existem vários métodos de pesquisa em modelagem e simulação de eventos que servem para apoiar a tomada de decisão em sistemas complexos, e dentre eles tem-se que o método proposto por Mitroff *et al.* (1974) é considerado o mais antigo conhecido de acordo com as evidências (MONTEVECHI *et al.*, 2015).

Mitroff *et al.* (1974) sugeriram um método, no qual sua estrutura de pesquisa utiliza uma visão sistêmica, representado por seis fases: i) Conceitualização; ii) Modelagem; iii) Resolução do modelo; iv) Feedback; v) Implementação; e vi) Validação.

A estruturação do modelo proposto neste trabalho baseia-se em uma adaptação a resolução de Mitroff *et al.* (1974), sendo abordadas apenas as quatro primeiras fases dessa metodologia, conforme o framework da Figura 7, em função de não ser objeto desse estudo a implementação dos resultados obtidos para o ambiente de estudo.

Figura 7 – Framework com as etapas gerais do modelo proposto



Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Mitroff et al. (1974).

No referido modelo sistemático, a primeira fase inicia-se a partir da construção de um modelo conceitual a partir de um situação real. Para tanto tem-se a execução do processo de conceitualização, onde busca-se definir todo o escopo do problema em estudo, envolvendo as decisões de interesse, os objetivos envolvidos e o grupo de decisores do processo, bem como são descritas as alternativas de decisão e as limitações sob as quais o sistema foi modelado (MIGUEL *et al.*, 2012; MITROFF *et al.*, 1974).

Na fase seguinte são usadas as informações e estimativas estabelecidas na 1ª fase em conjunto com a utilização de conceitos matemáticos e da teoria da decisão – emprego da teoria probabilística, da abordagem de decisão multicritério e agregação matemática – para o desenvolvimento um modelo científico mais estruturado para o problema.

Na terceira fase – Resolução – o modelo científico é executado, para que se possa visualizar as decisões sugeridas, com o auxílio da codificação de uma sequência finita e não ambígua de instruções computáveis.

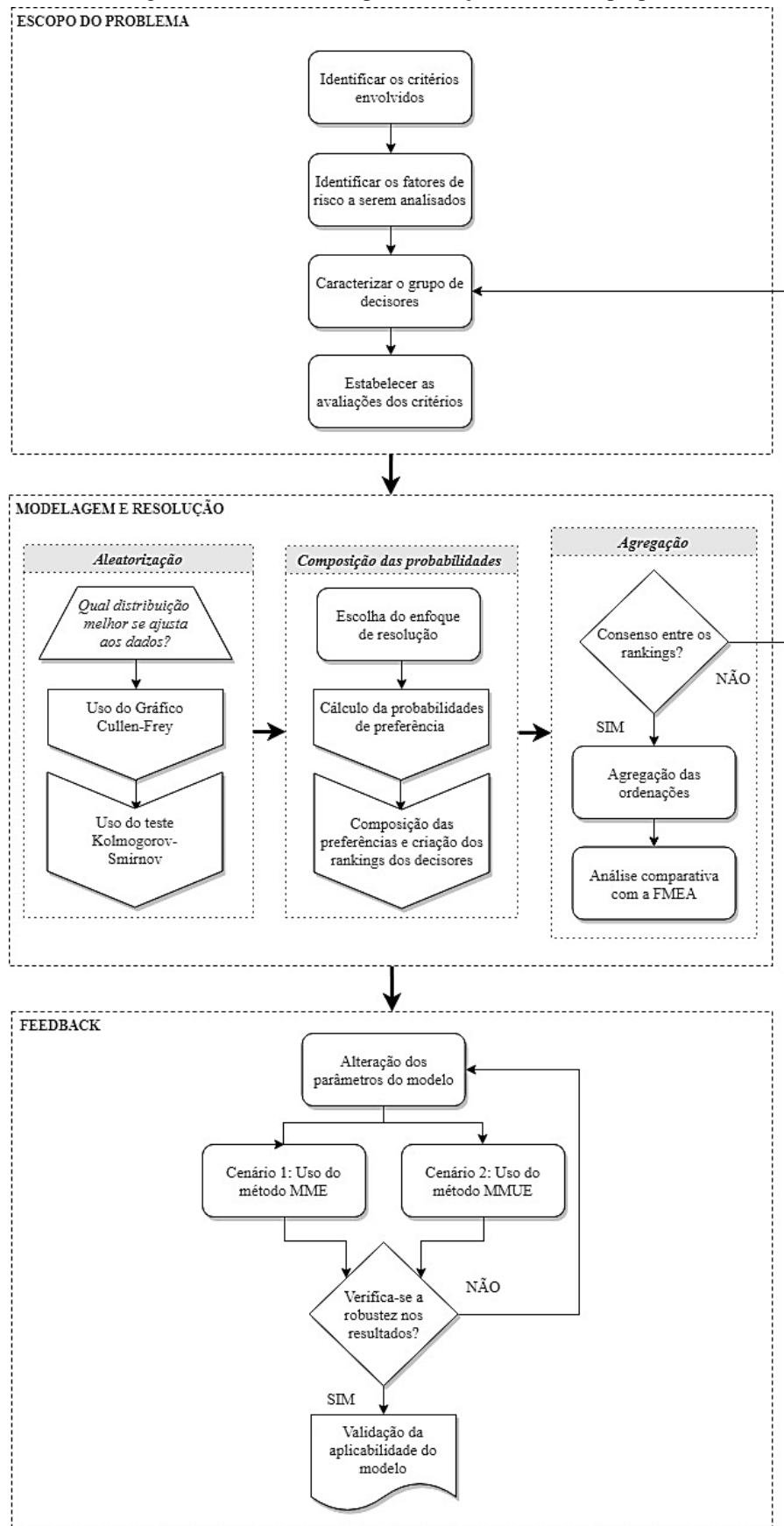
No estudo em questão, os algoritmos foram desenvolvidos especificamente no *script* do ambiente do software R (R CORE TEAM, 2017), tendo como base em uma adaptação de instruções obtidas em Sant’Anna *et al.* (2015a, 2015b).

Nessa fase também se realizou alguns testes preliminares para a identificar possíveis erros e verificar a adequação da implementação computacional dos algoritmos, ou seja, do modelo computacional.

Por fim, na quarta fase – Feedback – discute-se e interpreta-se as decisões obtidas com o modelo científico, de modo a verificar se recomendações são significativas para o problema em estudo e atestar a aplicabilidade do respectivo modelo. Neste caso, efetuou-se a realização de análises de sensibilidade, para verificar a consistência e a robustez das decisões obtidas, através de adaptações de algoritmos descritos na lógica interna (*default*) de uma função do ambiente do software R.

Diante da explicação sucinta do framework do modelo em estudo, parte-se então para o detalhamento do procedimento de execução da priorização dos riscos, conforme observa-se na Figura 8, que servirá de base para a aplicação do respectivo modelo.

Figura 8 – Procedimento para execução do modelo proposto



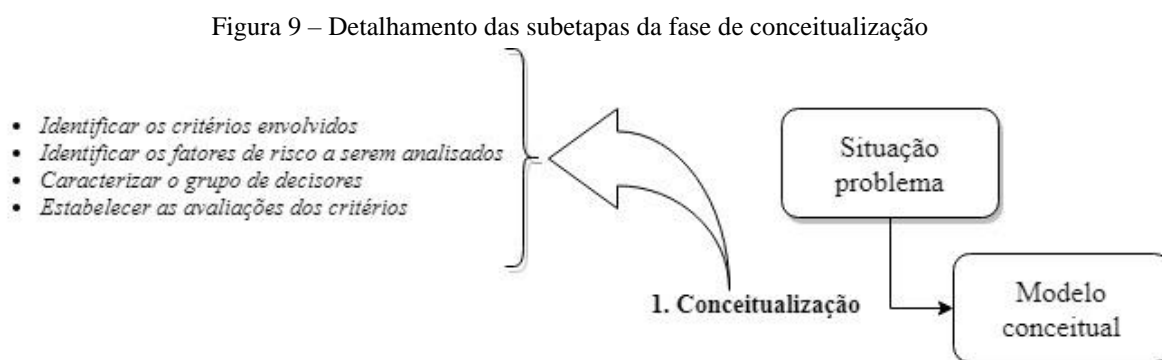
Fonte: O Autor (2018).

4 APLICAÇÃO DO MODELO

Nesta seção, no intuito de melhorar a compreensão da proposta, o modelo será aplicado a um problema real de priorização de riscos para empresas que fazem parte do Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco, de acordo com uma amostra retirada do banco de dados de uma pesquisa realizada por Palmeira (2016) nesse setor.

4.1 Conceitualização do problema

Partindo da situação problema em questão, a qual se refere na obtenção de uma ordenação dos riscos que mais afetam a CS, de modo que se possa com isso otimizar os investimentos de mitigação das organizações, tem-se nessa fase, conforme exposto na Figura 9, o detalhamento de todo o escopo do referido problema.



Fonte: O Autor (2018).

Em relação à primeira subetapa, a qual refere-se aos objetivos envolvidos, tem-se que segundo Almeida (2013), a estes objetivos são associadas variáveis que os representam e permitem a avaliação de cada alternativa do problema, com base em cada objetivo, deste modo, essas variáveis podem ser chamadas de critérios ou atributos.

No caso do estudo em questão, em virtude de o foco de aplicação ser voltado para a análise de riscos com base na metodologia da FMEA, os critérios já estão devidamente definidos como sendo: Severidade (S), Ocorrência (O) e dificuldade de Detecção (D).

No que tange a segunda subetapa dessa fase tem-se que os fatores de risco foram selecionados com base no banco de dados da pesquisa realizada por Palmeira (2016), na qual consistia de uma avaliação do comportamento de uma amostra de empresas que fazem parte do Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco através de uma metodologia de aplicação da

FMEA associada à lógica *Fuzzy*, tendo como embasamento uma série de modos de falha (ou riscos) de caráter interno e externo.

O Anexo A expõe a base de dados completa extraída da referida pesquisa, contendo os julgamentos (avaliações) que foram obtidos de cada empresa (decisor) mediante a avaliação em relação aos modos de falha (riscos) sob os critérios da FMEA. Cada decisor avaliou cada risco a partir de uma escala *Likert* de cinco pontos (1 = Muito Baixo; 2 = Baixo; 3 = Médio; 4 = Alto; 5 = Muito Alto), onde o maior valor (5) indicava a máxima intensidade de percepção do critério, e o menor valor (1) a mínima intensidade de percepção.

De posse desse banco de dados e tendo em vista que todas as empresas de uma CS estão interligadas através de uma base comum, tem-se que essas cadeias estão constantemente expostas a um conjunto de riscos que podem provocar diferentes formas de perdas (como em caráter financeiro, de recursos físicos e humanos, ou de imagem).

Sendo que fatores de caráter interno podem causar interrupções nas operações que resultem em propagação para toda a rede, dessa forma nota-se que os modos de falha que mais impactam referem-se aos relacionados ao micro risco (DANI, 2009; HO *et al.*, 2015), por este motivo, restringiu-se o foco para a utilização apenas dos riscos internos (alternativas do problema) abordados na referida pesquisa de Palmeira (2016). A Tabela 7 apresenta a lista dos respectivos riscos avaliados e suas identificações.

Tabela 7 – Lista dos riscos internos analisados e seus respectivos registros

Riscos	Registro	Riscos	Registro
Elevação nos custos das matérias-primas	R ₁	Falha no treinamento do pessoal	R ₉
Crise financeira devido à falta de pagamento dos clientes	R ₂	Falha no controle administrativo da empresa	R ₁₀
Colapso nos preços devido a um novo concorrente	R ₃	Falta de comunicação com os fornecedores principais	R ₁₁
Colapso nas vendas devido a um novo produto concorrente	R ₄	Falta de flexibilidade no processo produtivo	R ₁₂
Falha no fornecimento de matérias-primas	R ₅	Falta de tecnologia de informação adequada	R ₁₃
Falha na confiabilidade da entrega	R ₆	Falta de habilidade para lidar com a mudança de volume na demanda	R ₁₄
Falha na qualidade do produto	R ₇	Falta de eficiência dos processos que permitem o fluxo de materiais	R ₁₅
Falha de softwares nos sistemas principais	R ₈	Falta de regras, normas e procedimentos que regem a empresa	R ₁₆

Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Palmeira (2016).

Ainda em relação à base de dados utilizada, após restringir o fator principal de análise (riscos internos), para compor a aplicação diferenciada desse estudo, foi retirada uma amostra sistemática das percepções dos decisores do referido banco de dados da pesquisa de Palmeira (2016), sobre a população de empresas de micro e pequeno porte para caracterizar o grupo de decisores envolvidos no processo de priorização.

Essa escolha da população-alvo para o processo de amostragem se deu em função da revisão sistemática realizada por Qazi *et al.* (2015), que apontou a análise de GR nas CS em empresas desse porte como uma área de pesquisa de importante destaque, visto que a maioria dos estudos tem sido conduzidos para a análise das CS sob a ótica das empresas de grande porte, todavia como as CS estão diretamente ligadas a múltiplas organizações e são atendidas por uma série de fornecedores distintos, é necessário ter visibilidade para avaliar o impacto que as empresas de menor porte podem ter no funcionamento de toda a rede de suprimentos em caso de qualquer ruptura que ocorra em seus processos (ELLEGAARD, 2008; GURNANI *et al.*, 2012)

Para a realização dessa amostragem, sucedeu-se os seguintes passos, de acordo com Doane e Seward (2014):

- a) Dividiu-se o tamanho da população de empresas de micro e pequeno porte ($N = 24$) pelo tamanho da amostra ($a = 6$), obtendo-se um intervalo de retirada ($r \approx 4$);
 - A escolha do tamanho da amostra (a) ocorreu com base na seleção de um valor representativo para os múltiplos decisores, dentro do conjunto dos divisores do tamanho da população ($D(24) = 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24$);
- b) Sorteou-se um ponto de partida aleatoriamente ($A \leq r$) e a cada r elementos retirou-se uma amostra ($A, A+r, A+2r, \dots, A+(n-1)r$).

Por fim, com relação as possíveis limitações para execução dessa modelagem, tem-se que a restrição se limitou ao teor da aplicabilidade dos resultados, tendo em vista que essa seção objetiva apenas demonstrar sucintamente através de uma aplicação numérica a eficácia do modelo proposto, não sendo objetivo do presente trabalho realizar todo o processo sistemático proposto por Mitroff *et al.* (1974), o qual conclui-se com a implementação e validação do método para o ambiente analisado.

Além disso, como a base de dados utilizada conta apenas com 24 avaliações das empresas por parte de seus decisores, e o referido Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco, segundo o SEBRAE (2013), detém de 3610 empresas formais, não será possível considerar os resultados representativos para aplicação direta ao Polo.

4.2 Modelagem do problema

No que diz respeito a etapa de modelagem do problema, tem-se que a mesma se inicia pela realização de análises preliminares, as quais permitiram obter uma melhor adequação do modelo. Dessa forma realizou-se a reorganização dos dados do Anexo A (referente as avaliações dos decisores de cada empresa a respeito dos critérios da FMEA), a fim de moldá-los em um formato de análise similar ao cálculo da metodologia do RPN, que servirá de entrada para a modelagem desse estudo, como pode-se observar na Tabela 8.

Tabela 8 – Avaliação de cada decisor da amostra das empresas sob os critérios da FMEA

Empresa	E ₂			E ₆			E ₁₀			E ₁₄			E ₁₈			E ₂₂		
	S	O	D	S	O	D	S	O	D	S	O	D	S	O	D	S	O	D
R₁	5	5	1	3	3	3	3	2	3	3	3	1	4	3	2	3	3	3
R₂	5	5	1	3	3	3	4	4	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3
R₃	4	3	2	1	1	5	4	4	2	3	3	1	3	2	3	4	1	2
R₄	4	4	2	1	1	5	4	1	2	3	3	1	4	3	2	4	1	2
R₅	4	3	2	3	2	3	5	2	1	3	3	2	4	1	2	3	3	3
R₆	2	2	4	3	2	3	4	2	2	3	3	2	4	1	3	3	3	3
R₇	5	1	1	2	2	4	3	3	3	4	4	2	4	2	2	5	1	3
R₈	5	1	1	4	4	2	3	2	3	2	4	4	5	1	1	2	4	4
R₉	5	5	1	2	4	2	3	3	3	2	5	1	5	1	1	3	2	4
R₁₀	2	1	4	5	5	1	3	4	3	4	4	2	5	1	1	5	2	1
R₁₁	2	3	3	1	1	2	3	3	3	4	4	2	4	2	2	1	1	1
R₁₂	4	1	2	4	2	1	5	3	1	2	2	2	3	2	3	5	1	2
R₁₃	2	1	4	5	5	1	5	1	1	5	5	1	4	1	2	4	5	1
R₁₄	2	2	4	4	3	2	4	4	2	4	4	2	5	1	1	5	3	1
R₁₅	5	1	1	4	2	2	3	3	3	3	3	2	5	1	1	5	3	1
R₁₆	5	1	1	3	3	3	5	5	1	1	1	1	5	3	1	5	1	2

Obs.: 1 = Muito Baixo; 2 = Baixo; 3 = Médio; 4 = Alto; 5 = Muito Alto

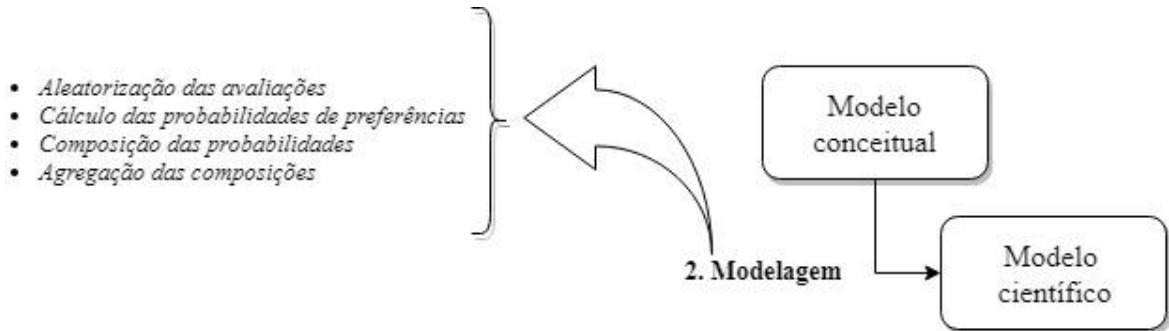
Fonte: O Autor (2018).

Diante de cada conjunto de avaliações dos decisores das empresas selecionadas, conforme expõe-se na Tabela 8, parte-se então para a conversão probabilística dos dados através da codificação das variáveis de decisão mediante o desenvolvimento da metodologia da CPP.

Para tanto, a etapa de modelagem do problema seguiu os estágios básicos da abordagem tradicional da CPP, conforme exposto na Figura 10, com o acréscimo da subetapa de agregação dos rankings – visto que se trata de uma modelagem para múltiplos decisores, os quais são

representados pelos decisores de cada empresa – para geração da ordenação final dos riscos mais preponderantes do ambiente estudado.

Figura 10 – Detalhamento das subetapas da fase de modelagem



Fonte: O Autor (2018).

4.2.1 Aleatorização das avaliações do estudo

Nessa primeira parte, tem-se que cada avaliação inicial observada na amostra sistemática do banco de dados, apresentada na Tabela 8, assinala apenas um ponto em torno do qual se encontra o valor que se deseja realmente medir. Assim, deve-se associar distribuições de probabilidade para substituir os valores exatos das medidas de preferência.

Dessa forma, pode-se tratar esses conjuntos de observações como amostras da distribuição de uma variável aleatória e usá-las para estimar não só o parâmetro de locação, mas, outros parâmetros suficientes para determinar a distribuição adequada (SANT'ANNA, 2014).

Sendo que Delignette-Muller e Dutang (2014) relatam que antes mesmo de ajustar as distribuições para um conjunto de dados, geralmente faz-se necessário selecionar bons candidatos entre um conjunto de distribuições predefinidas.

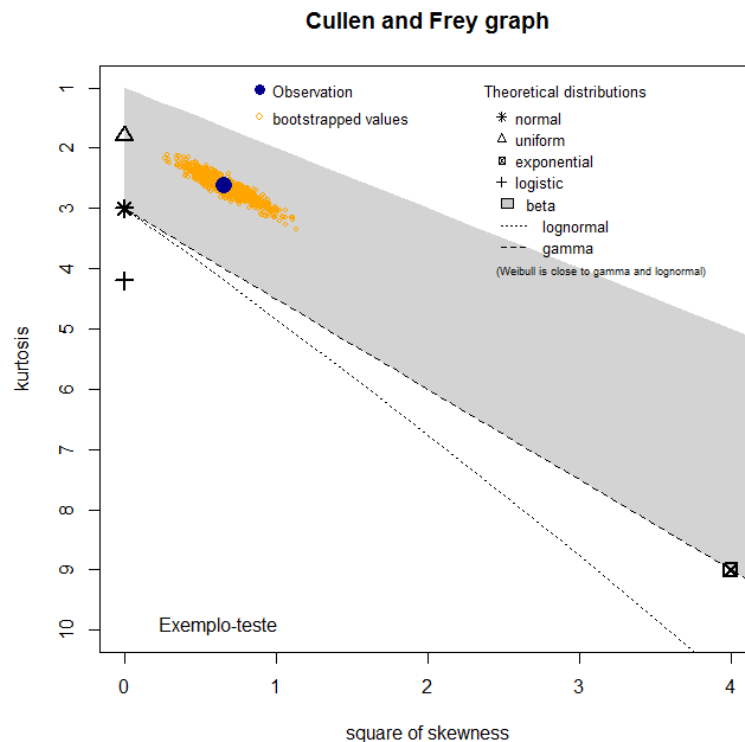
Daí surge o questionamento sobre como então identificar as formas das distribuições de probabilidade que melhor se ajustam aos dados. Em resposta a essa indagação, tem-se que essa escolha pode ser orientada pelo conhecimento de processos estocásticos que regem a variável modelada ou, na ausência de conhecimento sobre o processo subjacente, pela observação de sua distribuição empírica (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2014; GAVIÃO *et al.*, 2016c).

No caso em estudo, para obter um melhor conhecimento de processos que regem as variáveis modelada optou-se por inicialmente utilizar os gráficos de Cullen-Frey (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2014), a fim de averiguar a distribuição que melhor se

ajustaria, individualmente, para cada conjunto de avaliações dos decisores das empresas da amostra selecionada. A escolha do gráfico de Cullen-Frey se deu em função de sua contribuição para constatar visualmente a escolha dentre um conjunto de distribuições predefinidas (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2014).

Para tanto utilizou-se a função “*descdist*” do pacote “*fitdistrplus*”, disponível no software R (R CORE TEAM, 2017), a qual expõe a assimetria e a curtose para algumas distribuições comuns, conforme observa-se no exemplo-teste da Figura 11, sendo os valores das distribuições calculadas através de amostras por *bootstrap* (construídas por amostragem aleatória com substituição do conjunto de dados original) e relatadas em único gráfico.

Figura 11 – Exemplo-teste do gráfico Cullen-Frey



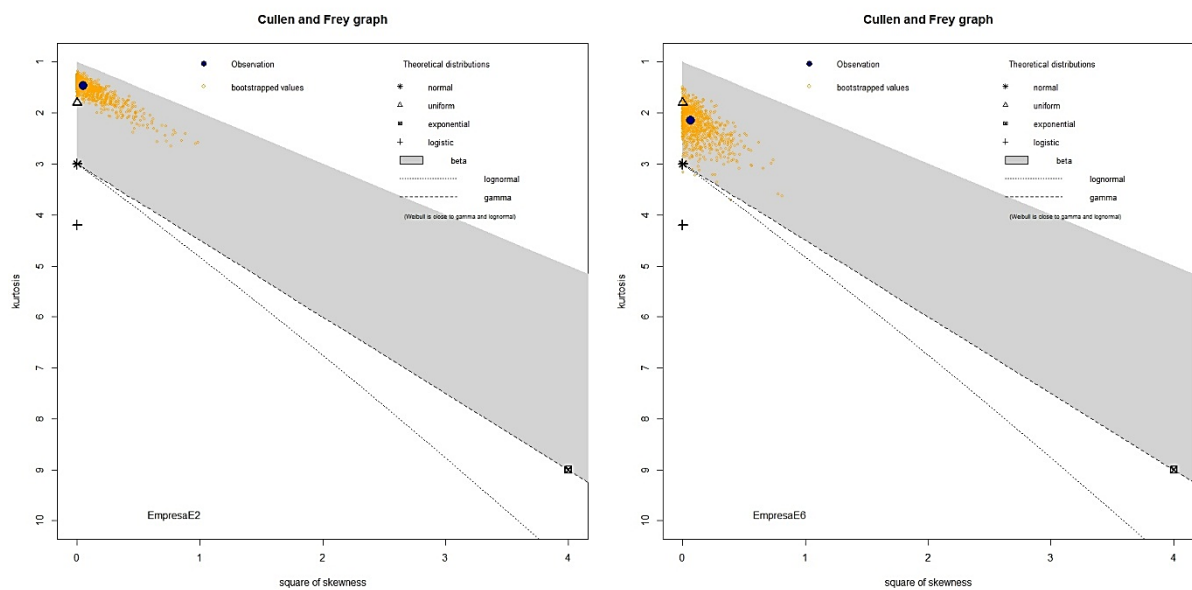
Fonte: O Autor (2018).

Como pode-se perceber a representação gráfica resultante da função “*descdist*” no caso de algumas distribuições – como por exemplo normal, uniforme e logística – apresenta apenas um valor possível para a assimetria e a curtose, dessa forma a distribuição é representada por um único ponto no enredo.

Já para outras distribuições, as áreas de possíveis valores são representadas ou por linhas (como para as distribuições gamma e lognormal) ou por áreas maiores (como para distribuição beta).

Por este modo, aplicando a respectiva função “*descdist*” ao conjunto de avaliações dos decisores das empresas da amostra selecionada, com base em um *bootstrap* de amostras de dados de inicialização de tamanho 1000, e analisando esses comportamentos para a assimetria e a curtose, obtém-se como resultado os gráficos apresentados nas Figuras 12 a 14.

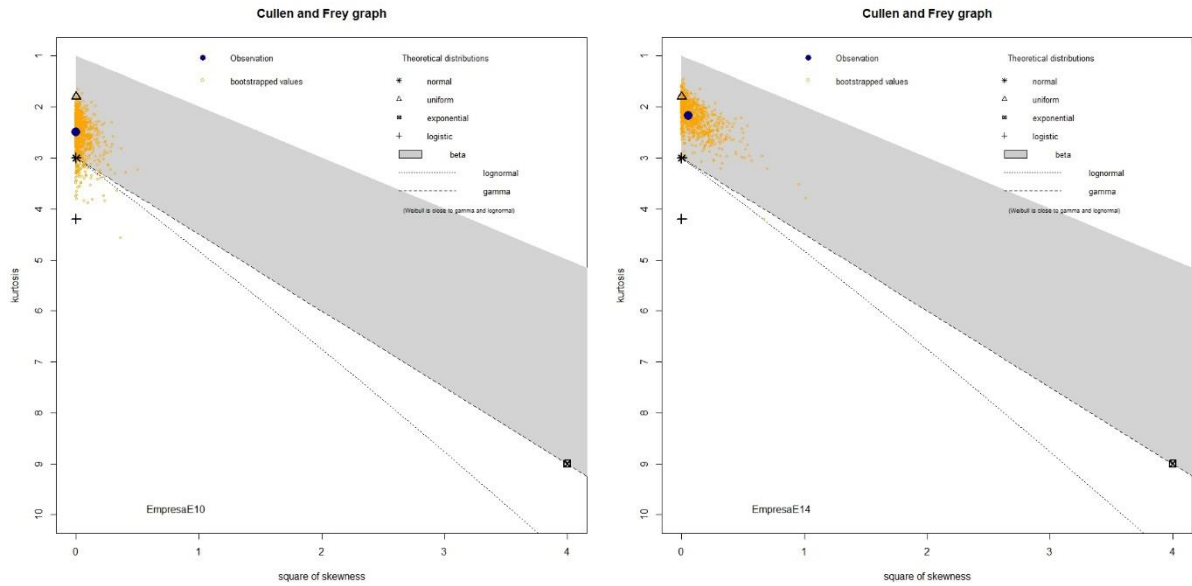
Figura 12 – Gráficos de Cullen-Frey para as avaliações das empresas E₂ e E₆



Fonte: O Autor (2018).

Como pode-se notar, com esse primeiro grupo de avaliações, as duas empresas têm sua disposição em conformidade com a área da distribuição Beta, todavia é possível perceber que elas têm uma concentração também próxima a distribuição Uniforme.

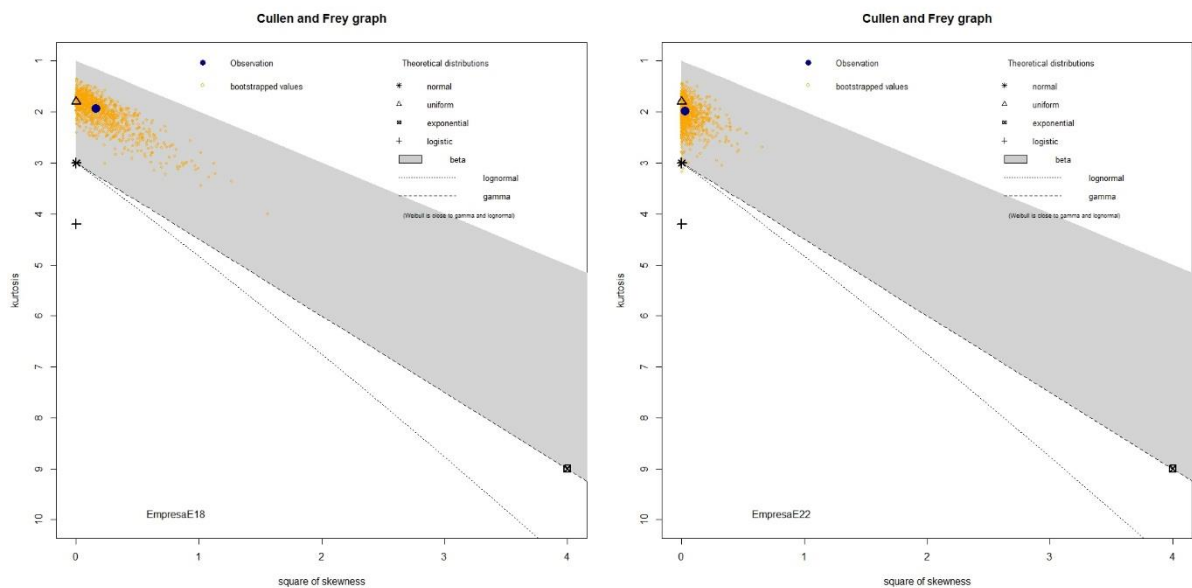
Figura 13 – Gráficos de Cullen-Frey para as avaliações das empresas E₁₀ e E₁₄



Fonte: O Autor (2018).

Com relação ao segundo grupo de avaliações, da Figura 13, destaca-se que a empresa E₁₀ tem sua disposição muito próxima do limite da distribuição Beta, e entre as concentrações das distribuições Uniforme e Normal. Já quanto a empresa E₁₄ novamente nota-se que a disposição está em conformidade com a área da distribuição Beta e próxima da distribuição Uniforme.

Figura 14 – Gráficos de Cullen-Frey para as avaliações das empresas E₁₈ e E₂₂



Fonte: O Autor (2018).

Por último, tem-se nesse agrupamento, da Figura 14, que ambas têm sua disposição em conformidade com a área da distribuição Beta e a Uniforme, com destaque maior para a empresa E₂₂.

Dessa forma, apesar dessa análise inicial, evidencia-se que os métodos gráficos têm a desvantagem de serem subjetivos, pois dependem de interpretação visual. Assim, outras informações precisam ser levadas em consideração, visto que essa técnica não substitui outros métodos estatísticos de ajuste das distribuições.

Com isso, pode-se fazer uso de testes não-paramétricos de aderência, os quais tem a função de ser concernentes com o grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores (escores observados) e alguma distribuição teórica especificada (SIEGEL; CASTELLAN, 2006), que para o caso em estudo serviria comprovar dentre as distribuições encontradas a partir do gráfico Cullen-Frey (Beta, Normal e Uniforme), qual será a que melhor se adequa aos dados utilizados.

Dessa forma, optou-se pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), visto que ele admite que a distribuição da variável que está sendo testada seja contínua, além do fato de ser apropriado para testar a aderência de variáveis que sejam medidas em escala ordinal.

Por este modo, primeiramente criou-se aleatoriamente dois vetores numéricos genéricos, do mesmo tamanho de cada conjunto de avaliações dos decisores, para as distribuições Uniforme e Normal.

Depois, empregou-se a função “*ebeta*” do pacote “*EnvStats*” para estimar os parâmetros (α e β) da distribuição Beta para cada conjunto de avaliações dos decisores, tendo como base o método padrão de Estimativa de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood Estimation – MLE*), conforme observa-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros α e β do conjunto de avaliações dos decisores

Empresa	Parâmetro	
	α	β
E ₂	0,2988296	0,3683248
E ₆	0,6541133	0,8234132
E ₁₀	1,027927	1,071669
E ₁₄	0,8068513	1,1056851
E ₁₈	04149628	0,6333643
E ₂₂	0,5272826	0,6637557

Fonte: O Autor (2018).

Posteriormente, utilizando tais parâmetros, criou-se aleatoriamente oito vetores numéricos genéricos para a distribuição Beta, do mesmo tamanho de cada conjunto de avaliações dos decisores.

De posse de todos esses dez vetores numéricos criados, partiu-se para realizar os testes de ajustes as distribuições em questão, utilizando para isso a função “*ks.test*” do pacote “*stats*” do software R (R CORE TEAM, 2017) através da comparação entre cada conjunto de avaliações dos decisores das empresas com os vetores numéricos criados de acordo com cada distribuição investigada (Beta, Normal e Uniforme). Os resultados dos testes de KS podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados dos testes de KS para o conjunto de dados em estudo

Empresa	Distribuição testada	Estatística do teste
E ₂	Uniforme	P-valor: 0,01841935
	Normal	P-valor: 4,427453e-06
	Beta	P-valor: 0,03370224
E ₆	Uniforme	P-valor: 0,01841935
	Normal	P-valor: 4,427453e-06
	Beta	P-valor: 0,3676268
E ₁₀	Uniforme	P-valor: 0,03370224
	Normal	P-valor: 4,427453e-06
	Beta	P-valor: 0,05914803
E ₁₄	Uniforme	P-valor: 0,01841935
	Normal	P-valor: 4,427453e-06
	Beta	P-valor: 0,5175508
E ₁₈	Uniforme	P-valor: 0,01841935
	Normal	P-valor: 4,427453e-06
	Beta	P-valor: 0,03370224
E ₂₂	Uniforme	P-valor: 0,01841935
	Normal	P-valor: 4,427453e-06
	Beta	P-valor: 0,09956185

Obs.: p-valor < 0,01 → hipótese nula é rejeitada

Fonte: O Autor (2018).

Deste modo, a forma mais simples para se tomar uma decisão nesse contexto é interpretando todos os testes com base na comparação da análise da probabilidade de significância (valor-p) com o nível de significância (α), que neste caso foi adotado como sendo 1%.

Então, se o valor-p for menor que α , a hipótese nula – H_0 : O conjunto de avaliações dos decisores das empresas da amostra selecionada e o vetor numérico tem a mesma distribuição – é rejeitada, caso contrário o teste indica que não existem evidências suficientes que comprovem que cada conjunto de avaliações dos decisores provenha da distribuição analisada.

Como pode-se perceber na Tabela 10, os resultados dos testes de KS indicam que existem evidências suficientes que comprovem que os dados estudados seguem a distribuição Beta, visto que os p-valores, em cada análise, tem maior significância em comparação com as demais distribuições, ou seja os p-valores do teste de KS para a distribuição Beta são os maiores e os mais significativos ($p\text{-valor} > \alpha = 1\%$).

4.2.2 Cálculo e composição das probabilidades de preferência

Após realizar a aleatorização das avaliações, parte-se para realizar o cálculo probabilidades de preferência de cada alternativa (risco) em relação aos critérios (S, O, D). Sendo que para efetuar esse cálculo necessita-se simultaneamente compreender qual o enfoque de resolução deve ser considerado para o problema.

Neste caso, tendo em vista que a lógica-base do cálculo da metodologia do RPN busca a otimização de acordo com todos os três critérios e considera as probabilidades de maximização (obter os riscos mais altos), deve-se usar então o enfoque Progressivo/Pessimista (PPE), conforme exposto na Figura 5. Assim, para o cálculo probabilidades de preferência desse estudo, necessitou-se apenas estimar as probabilidades de preferência máxima (M_{ij}), conforme já exposto na Equação 2.

Conforme já relatado na seção 2.5.3, outro aspecto deve ser levado em consideração no cálculo das composições de probabilidade: a modelagem da correlação entre distúrbios que afetam as avaliações de acordo com diferentes critérios.

Como as inter-relações da avaliação dos critérios (S, O, D) na metodologia do RPN não são conhecidas, trata-se cada fator sob o pressuposto de que são independentes entre si (KIM, ZUO, 2018). Desta forma, deve-se considerar que a suposição de independência deve ser preferida, a qual leva em consideração no cálculo das probabilidades de preferência o produto dos eventos que são interceptados, empregando, assim, mais da informação disponível ao cálculo (SANT'ANNA, 2015a).

4.2.3 Agregação das composições (rankings)

De acordo com o que foi exposto na seção 2.6, existem algumas publicações na literatura que realizam a associação das probabilidades de preferência em problemas envolvendo mais de um decisor.

Entretanto, essas vertentes buscam trabalhar, dentro da ótica da MCDA, com a agregação a partir das preferências iniciais dos decisores, e como consequência, segundo Almeida *et al.* (2012), tem-se que o resultado de cada decisor não é visualizado diretamente. Nesse caso, assume-se que os decisores atuam em conjunto e agrupam as suas avaliações de tal modo que o grupo se torne um “novo” indivíduo (ALMEIDA *et al.*, 2012).

Sendo que essa visão recebe muitos questionamentos quanto ao fato da possibilidade de mascarar o comportamento das variáveis, além de permitir a geração de alguns problemas de consistência se não for utilizado todo o espectro de julgamentos de forma adequada.

Diante desse contexto, esse estudo apresenta uma abordagem diferencial ao explorar o resultado da priorização de cada decisor como entrada para o procedimento de agregação e formulação do ranking final dos riscos, o qual será obtido mediante o resultado do emprego do coeficiente de concordância W de Kendall.

A escolha do referido coeficiente ocorreu em função de alguns fatores (SIEGEL; CASTELLAN, 2006):

- a) Tratar com medidas de relação entre várias ordenações de ‘ n ’ objetos;
- b) Menor esforço no cálculo dos coeficientes de associação entre as ‘ k ’ variáveis, se comparado à outras medidas de correlação (a exemplo do ‘ r_s ’ de Spearman);
- c) O cálculo é mais simples e segue uma relação linear com a média ‘ r_s ’ tomada sobre todos os grupos.

Deste modo, através do coeficiente W averigua-se, primeiramente, a associação de várias listas ordenadas (rankings), e caso seja expressa de forma realista um consenso entre os rankings – quanto maior o valor W de Kendall, mais forte será a concordância – pode-se então estabelecer uma agregação final a partir da ordenação crescente do somatório dos postos dos dados (R_i), em vez das observações originais.

O roteiro para execução do coeficiente de concordância W de Kendall segue os seguintes passos, de acordo com Siegel e Castellan (2006):

- a) Seja ‘ n ’ o número de riscos a serem ordenados, e seja ‘ k ’ o número de decisores que atribuem suas avaliações. Primeiramente, converte-se a matriz das

composições probabilísticas de cada decisor para uma matriz de postos (posição ordenada). Depois, dispõe essa nova matriz em uma tabela no formato $k \times n$;

- b) Para cada risco, determina-se R_i , a soma dos postos atribuídos a estes riscos pelos k decisores;
- c) Determina-se o quadrado do valor de cada uma das somas (R_i^2);
- d) Calcula-se a estatística W através da Equação 4, levando em consideração a possibilidade de empates entre os ‘ n ’ postos;

$$W = \frac{12 \sum R_i^2 - 3k^2n(n+1)^2}{k^2n(n^2 - 1) - k \sum T_c} \quad (4)$$

– Onde tem-se que: $T_c = \sum_{i=1}^{g_c} (t_p^3 - t_p)$ como sendo o fator de correção requerido para o c -ésimo conjunto de ordenação; ‘ g_c ’ como sendo o nº de grupos de empates no c -ésimo conjunto de ordenações; ‘ t_p ’ como sendo o nº de postos empatados no p -ésimo agrupamento de empates.

- e) O método para determinar se o valor observado de W é significativamente diferente de zero, depende do tamanho de ‘ n ’. Como no caso em questão ‘ n ’ > 7 , a Equação 5 pode ser usada para calcular o valor de X^2 , o qual é aproximadamente distribuído como um qui-quadrado, e cuja significância para os graus de liberdade $(n-1)$ pode ser testada consultando a tabela dos valores críticos da distribuição qui-quadrado.

$$X^2 = k(N - 1)W \quad (5)$$

- f) Se X^2 é maior do que o valor crítico encontrado na tabela, rejeita-se H_0 e conclui-se que as ordenações não são independentes, dessa forma havendo um bom consenso entre os membros.

4.3 Resolução do problema

Como já mencionado na seção 3, a resolução do problema em estudo será feita através da utilização do software R (R CORE TEAM, 2017). Deste modo para efetuar a primeira parte da lógica da CPP, referente a transformação das avaliações determinísticas em valores de probabilidades de preferência, utilizou-se como instrumento principal uma adaptação de instruções computáveis já relatadas na literatura (SANT’ANNA *et al.*, 2015a, 2015b), visto que elas trabalharam com a transformação a partir das preferências iniciais dos decisores, deste modo incluíam o número de decisores no cálculo dos parâmetros α e β .

No estudo em questão, por se trabalhar com a ordenação de cada decisor como input para o procedimento de agregação final, uma das alterações principais foi a de isolar os parâmetros α e β em função da média (μ) e da variância (σ^2) dos dados, de acordo com Forbes *et al.* (2010), conforme observa-se nas Equações 6 e 7.

$$\alpha = \frac{\mu^2(1 - \mu)}{\sigma^2} - \mu \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\mu(1 - \mu)^2}{\sigma^2} - (1 - \mu) \quad (7)$$

A partir dessa alteração e de outros pequenos ajustes nos cálculos, projetou-se o algoritmo para a obtenção das probabilidades de preferência dos Riscos em relação a cada critério, conforme pode-se observar no Apêndice A. Um extrato dessas probabilidades, resultantes da execução do algoritmo e constantes do Apêndice D, é aqui destacado na Tabela 11, com a finalidade de orientar os resultados obtidos.

Tabela 11 – Extrato das probabilidades de preferência para cada risco

Probabilidades de preferência dos riscos			
Empresa: E2			
Risco	S	O	D
R ₁	0,0445	0,0336	0,0652
R ₂	0,0445	0,0336	0,0652
R ₃	0,0763	0,0794	0,072
R ₄	0,0763	0,0605	0,072
R ₅	0,0763	0,0794	0,072
R ₆	0,0766	0,0799	0,0475
R ₇	0,0445	0,0629	0,0652
R ₈	0,0445	0,0629	0,0652
R ₉	0,0445	0,0336	0,0652
R ₁₀	0,0766	0,0629	0,0475
R ₁₁	0,0766	0,0794	0,0656
R ₁₂	0,0763	0,0629	0,072
R ₁₃	0,0766	0,0629	0,0475
R ₁₄	0,0766	0,0799	0,0475
R ₁₅	0,0445	0,0629	0,0652
R ₁₆	0,0445	0,0629	0,0652

Fonte: O Autor (2018).

Ainda com base no algoritmo, para realização da etapa seguinte, referente a composição dessas preferências, mantendo o princípio da multiplicação e a independência entre as avaliações pelos diferentes critérios (tradicionalmente empregado com a FMEA), utilizou-se o enfoque Progressivo/Pessimista (PPe), na qual a probabilidade conjunta é dada, simplesmente, pelo produto das probabilidades de preferência segundo cada um dos critérios (SANT'ANNA, 2012), conforme observa-se na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultado da composição das probabilidades de preferência para cada risco

Probabilidades conjuntas dos riscos de cada empresa						
Risco	PPe(E₂)	PPe(E₆)	PPe(E₁₀)	PPe(E₁₄)	PPe(E₁₈)	PPe(E₂₂)
R ₁	9,760e-05	3,632e-04	3,071e-04	3,472e-04	2,444e-04	3,510e-04
R ₂	9,760e-05	3,632e-04	2,532e-04	3,161e-04	2,402e-04	3,510e-04
R ₃	4,369e-04	1,010e-04	2,532e-04	3,472e-04	2,402e-04	3,213e-04
R ₄	3,325e-04	1,010e-04	2,616e-04	3,472e-04	2,444e-04	3,213e-04
R ₅	4,369e-04	3,748e-04	1,617e-04	3,450e-04	3,390e-04	3,510e-04
R ₆	2,907e-04	3,748e-04	3,330e-04	3,450e-04	2,589e-04	3,510e-04
R ₇	1,825e-04	2,833e-04	3,027e-04	2,149e-04	3,322e-04	1,716e-04
R ₈	1,825e-04	2,351e-04	3,071e-04	6,506e-05	1,819e-04	1,478e-04
R ₉	9,760e-05	2,906e-04	3,027e-04	1,594e-04	1,819e-04	2,570e-04
R ₁₀	2,290e-04	6,768e-05	2,335e-04	2,149e-04	1,819e-04	1,965e-04
R ₁₁	3,997e-04	2,488e-04	3,027e-04	2,149e-04	3,322e-04	1,530e-04
R ₁₂	3,460e-04	2,636e-04	1,594e-04	3,161e-04	2,402e-04	1,929e-04
R ₁₃	2,290e-04	6,768e-05	1,270e-04	6,272e-05	3,390e-04	1,157e-04
R ₁₄	2,907e-04	3,035e-04	2,532e-04	2,149e-04	1,819e-04	1,817e-04
R ₁₅	1,825e-04	3,131e-04	3,027e-04	3,450e-04	1,819e-04	1,817e-04
R ₁₆	1,825e-04	3,632e-04	6,686e-05	1,458e-04	1,311e-04	1,929e-04

Obs.: A notação 1,11e-01 significa $1,11 \cdot 10^{-01}$

Fonte: O Autor (2018).

Para finalizar as etapas do modelo proposto, tem-se a realização da agregação das respectivas ordenações de cada decisor observadas na Tabela 12. Diferentemente das etapas anteriores que utilizaram como base uma adaptação de um algoritmo já exposto na literatura, nesta parte, com base no roteiro apresentado na seção 4.2.3 para o coeficiente de concordância W de Kendall, modelou-se um *script* também no ambiente do software R (R CORE TEAM, 2017), conforme pode-se observar no Apêndice B.

Pela execução desse *script* para a agregação das ordenações obteve-se com considerável confiança que a concordância dos decisores das empresas é mais alta do que seria se fosse

devido ao acaso, isto é, se suas ordenações tivessem sido aleatórias ou independentes – Rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que há consenso entre as avaliações – conforme observa-se a Tabela 13.

Tabela 13 – Estatísticas do coeficiente de concordância W de Kendall

Estatísticas		Decisão
W	0,313954462	Rejeita-se H_0 ($X^2 > V_{\text{tab}}$)
X^2	28,25590156	

Obs.: Graus de liberdade = 15; $\alpha = 0,05 \rightarrow$ Valor tabelado (V_{tab}) = 22,31

Fonte: O Autor (2018).

Desta forma, tendo em vista que houve concordância nas avaliações dos decisores, pode-se obter a agregação final a partir da ordenação crescente do somatório os postos (R_i), conforme observa-se na Tabela 14, visto que os riscos que tiverem os menores R_i , indicaram que foram elencados como os de maior impacto pelo ranking individual dos decisores, encontrados a partir do respectivo *script*.

Tabela 14 – Agregação das composições de preferência dos riscos

Posição	Identificação dos riscos internos		R_i
1°	R_6	Falha na confiabilidade da entrega	21,5
2°	R_5	Falha no fornecimento de matérias-primas	25
3°	R_1	Elevação nos custos das matérias-primas	32,5
4°	R_4	Colapso nas vendas devido a um novo produto concorrente	40,5
5°	R_3	Colapso nos preços devido a um novo concorrente	41,5
6°	R_{11}	Falta de comunicação com os fornecedores principais	47,5
7°	R_2	Crise financeira devido à falta de pagamento dos clientes	48
8°	R_{15}	Falta de eficiência dos processos que permitem o fluxo de materiais	52,5
9°	R_7	Falha na qualidade do produto	53
10°	R_{12}	Falta de flexibilidade no processo produtivo	54
11°	R_{14}	Falta de habilidade para lidar com a mudança de volume na demanda	58,5
12°	R_9	Falha no treinamento do pessoal	61,5
13°	R_{10}	Falha no controle administrativo da empresa	67,5
14°	R_8	Falha de softwares nos sistemas principais	69
15°	R_{16}	Falta de regras, normas e procedimentos que regem a empresa	71
16°	R_{13}	Falta de tecnologia de informação adequada	72,5

Fonte: O Autor (2018).

Com base no exposto da Tabela 14, percebe-se que o modelo de priorização proposto aponta algumas singularidades quanto aos cinco primeiros riscos:

- a) os dois principais riscos a serem investigados e mitigados com maior ênfase referem-se a um contexto bastante recorrente no que tange as relações dentro das CS: o fornecedor;
- b) na terceira posição se encontra os custos com matéria-prima, o que quebra assim com o paradigma tradicional de que os custos são os fatores de maior importância dentro do contexto organizacional de uma CS;
- c) os dois últimos riscos baseiam-se na esfera de influência que um novo produto pode acarretar no planejamento das organizações.

Contudo, para ratificar ainda mais os resultados obtidos com o modelo proposto, realizou-se uma simulação com a FMEA tradicional, utilizando como base uma sistemática bastante empregada nos trabalhos envolvendo a análise da CPP com a FMEA para mais de um decisor – a exemplo de: Letta et al. (2016); Sant’Anna et al. (2014, 2015a, 2015b) – na qual os valores de entrada são oriundos das modas amostrais das avaliações iniciais dos seis decisores (ver Tabela 8). Caso ocorra algum empate entre dois ou mais valores com frequência máxima, a moda é determinada pela média aritmética dos dois valores centrais.

Posteriormente, efetuou-se uma comparação entre o resultado obtido com a modelagem proposta nesse trabalho e a abordagem descrita no parágrafo anterior (utilizando-se, para tal, as modas amostrais). O resultado dessa comparação pode ser verificado na Tabela 15, onde a coluna 7 indica o direcionamento da posição no ranking final – subiu no ranking (▲), manteve-se na mesma posição (▬) ou desceu no ranking (▼).

Tabela 15 – Visualização comparativa entre os rankings da FMEA e do modelo proposto

(continua)

Posição	FMEA					Modelo proposto			
	Risco	S	O	D	RPN	Risco		R _i	
1°	R ₈	3,5	4	2,5	35	▲	R ₆	21,5	
2°	R ₁₄	4	3,5	2	28	▲	R ₅	25	
3°	R ₁	3	3	3	27	▬	R ₁	32,5	
4°	R ₂	3	2,5	3	22,50	▲	R ₄	40,5	
5°	R ₅	3	3	2	18	▲	R ₃	41,5	
6°	R ₆	3	2	3	18	▲	R ₁₁	47,5	
7°	R ₁₂	4,5	2	2	18	▼	R ₂	48	

(conclusão)

Posição	FMEA					Modelo proposto		
	Risco	S	O	D	RPN		Risco	R _i
8°	R ₇	4,5	1,5	2,5	16,88	▲	R ₁₅	52,5
9°	R ₉	3,3	5	1	16,67	▼	R ₇	53
10°	R ₃	4	2	2	16	▼	R ₁₂	54
11°	R ₁₃	5	3	1	15	▼	R ₁₄	58,5
12°	R ₁₅	5	3	1	15	▼	R ₉	61,5
13°	R ₁₀	5	2,5	1	12,50	—	R ₁₀	67,5
14°	R ₁₁	2,5	2	2	10	▼	R ₈	69
15°	R ₄	4	1	2	8	▲	R ₁₆	71
16°	R ₁₆	5	1	1	5	▼	R ₁₃	72,5

Fonte: O Autor (2018).

Analisando, primeiramente, os resultados obtidos com a simulação da FMEA tradicional, observa-se que como já relatado nesse estudo, o fato de utilizar medidas de tendência central acaba desconsiderando a totalidade das opiniões e interpretações dos decisores.

Já com relação a utilização da agregação das composições conjuntas, obtidas da avaliação integrada da agregação final sobre a CPP com a FMEA, foi possível obter uma ordenação de cada modo de falha de forma mais consistente, tratando das avaliações dos decisores e mantendo a contribuição de seus julgamentos.

No que diz respeito a análise comparativa dos resultados, chama-se a atenção para as sete diferenças consistentes ao longo das duas ordenações, no que diz respeito as posições de alguns riscos (R₈, R₁₄, R₂, R₁₂, R₇, R₉ e R₁₃), conforme observa-se no direcionamento e na ordenação das colunas 7 e 8, respectivamente, da Tabela 15.

Dessas alterações vale destacar a mudança significativa dos riscos Falha de softwares nos sistemas principais (R₈) e Falta de habilidade para lidar com a mudança de volume na demanda (R₁₄), visto que eles saíram do patamar das primeiras posições, na FMEA tradicional, para a 14ª e 11ª posição, respectivamente, em relação a ordenação obtida pelo modelo proposto.

Além disso, destaca-se a peculiaridade dessa comparação no que diz respeito ao empate ocorrido para os riscos Elevação nos custos das matérias-primas (R₁) e Falha no controle administrativo da empresa (R₁₀)

Dessa forma, observa-se o quão diferente seriam as estratégias para a mitigação e planejamento das organizações caso fosse levado em consideração a projeção de priorização da FMEA tradicional.

4.4 Feedback da modelagem

Nesta última fase do modelo proposto verificou-se quão robusto é o sistema de decisão projetado, ou seja, testou-se a estabilidade dos resultados obtidos frente a possíveis variações.

Tendo em vista que o método multicritério utilizado nesse estudo (CPP) não leva em consideração a atribuição de pesos ou constantes de escala sobre os critérios analisados, esses componentes não puderam ser utilizados para verificar a robustez como comumente observa-se na literatura.

Dessa forma, na análise de sensibilidade desse estudo, partiu-se então para projetar dois cenários distintos, que representassem um conjunto de variações quanto a possíveis mudanças nos parâmetros fundamentais do procedimento da transformação probabilística com base na distribuição Beta: os parâmetros α e β .

Esses cenários se basearam no uso de dois métodos empregados para a estimação dos parâmetros α e β , que se encontram descritos na lógica interna da função “*ebeta*” do pacote “*EnvStats*” do software R (R CORE TEAM, 2017):

- a) *Method of Moments Estimators* (MME ou Método de Estimadores de Momentos);
- b) *Method of Moments Estimators Based on the Unbiased Estimator of Variance* (MMUE ou Método de Estimadores de Momentos Baseado no Estimador Imparcial da Variância).

Para realizar o cálculo dos novos parâmetros (α e β), com base nessas metodologias, projetou-se outro script no ambiente do software R (R CORE TEAM, 2017), conforme observa-se no Apêndice C.

Através dessas funções obteve-se, em cada cenário, novos valores para α e β , que serviram para substituir os inputs iniciais usados no procedimento descrito no Apêndice A que foram calculados com base nas Equações 6 e 7.

Com isso executou-se novamente todo o procedimento da transformação das avaliações determinísticas em probabilísticas e gerou-se duas novas tabelas de probabilidades de preferências conjuntas, conforme Apêndice E.

De posse das probabilidades de preferências conjuntas executou-se a agregação das composições mediante o algoritmo do Apêndice B e obteve-se duas novas ordenações, as quais mostraram-se considerável consenso entre os decisores das empresas, conforme observa-se a Tabela 16.

Tabela 16 – Estatísticas do coeficiente de concordância para a análise de sensibilidade

Método	Estatísticas		Decisão
MME	W	0,313535912	Rejeita-se H_0 ($X^2 > V_{\text{tab}}$)
	X²	28,21823204	
MMUE	W	0,313954462	Rejeita-se H_0 ($X^2 > V_{\text{tab}}$)
	X²	28,25590156	
Obs.: Graus de liberdade = 15; $\alpha = 0,05 \rightarrow$ Valor tabelado (V_{tab}) = 22,31			

Fonte: O Autor (2018).

No entanto, percebeu-se que essas variações dos parâmetros α e β , para os dois cenários, não provocou uma alteração substancial na ordem das prioridades (ranking), portanto, concluiu-se que os resultados apresentados (conforme exposto na Tabela 14) pelo modelo proposto para a agregação de riscos são coerentes, permitindo assim a recomendação para mitigação dos riscos que mais afetam o contexto em estudo.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nessa seção será retomado os objetivos do estudo, uma breve exposição sobre a forma metodológica empregada e os resultados obtidos, bem como expor a contribuição do modelo proposto e sugerir questões que servirão para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

É notório que cada vez mais as empresas, em função de suas interdependências e de seu relacionamento colaborativo, estão se organizando em cadeias no intuito de ampliar e aprimorar suas potencialidades.

No entanto essa forma de organização tem levado a uma complexidade no gerenciamento das operações das empresas, o que respectivamente tem conduzido a um crescente aumento nas interrupções dos processos e conseqüentemente gerado uma elevação dos riscos envolvidos.

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo propor um modelo para priorização de riscos associados ao gerenciamento de CS, o qual envolve no processo de análise tanto a participação de mais de um decisor quanto a utilização de metodologias que captem as opiniões desses agentes, e que tenha como intuito garantir a melhoria na tomada de decisão a respeito dos investimentos para mitigação dos riscos relacionados com as rupturas dos processos.

E para alcançar esse objetivo, necessitou-se de um maior embasamento do tema em questão, deste modo foi elaborada uma revisão bibliográfica e da literatura sobre os principais conceitos relativos a: Gestão de Riscos (GR) aplicada a CS; Análise do Modo de Falha e seus Efeitos (FMEA); e Composição Probabilística de Preferências (CPP);

Diante dessa revisão foi possível identificar que apesar da FMEA ser um poderoso instrumento utilizado na GR, não apenas para a finalidade de análise de falhas, mas, também, para a geração de conhecimento, há muitas pesquisas científicas que relatam lacunas encontradas em seu procedimento, mostrando assim que essa ferramenta carece de um mecanismo que melhor lhe auxilie nas análises dos modos de falha.

Finalizando a respectiva revisão, percebeu-se que a metodologia da CPP já vem atuando para ajustar parte das lacunas encontradas no procedimento da FMEA, visto que esta metodologia leva em consideração a influência da subjetividade inerente (imprecisão) ao julgamento de valor nas medidas dos atributos, relacionados ao processo decisório quanto aos modos de falha.

Assim sendo, tem-se que o modelo proposto traz como diferencial, no que tange seus aspectos metodológicos, além de uma modelagem integrada da CPP sobre a avaliação da FMEA, a inserção de múltiplos decisores em sua análise, cujas avaliações são avaliadas e agregadas mediante o uso do coeficiente de concordância W de Kendall. E todo o procedimento do modelo proposto foi devidamente projetado através de algoritmos escritos no software R.

Deste modo, com o intuito de comprovar a validade do modelo para priorização de riscos, foi realizado uma aplicação do mesmo utilizando uma amostra sistemática extraída da base de dados da pesquisa de Palmeira (2016), a qual avaliou o comportamento de algumas empresas que fazem parte do Polo de Confeções do Agreste de Pernambuco diante dos riscos as quais elas estão inseridas, com base no uso da metodologia FMEA associada à lógica *Fuzzy*.

Como resultado da referida aplicação, obteve-se que os cinco principais riscos a serem investigados e mitigados dentro do contexto das empresas do Polo de Confeções seriam:

- a) falha na confiabilidade da entrega (R_6);
- b) falha no fornecimento de matérias-primas (R_5);
- c) elevação nos custos das matérias-primas (R_1);
- d) colapso nas vendas devido a um novo produto concorrente (R_4);
- e) colapso nos preços devido a um novo concorrente (R_3).

Ainda sobre a aplicação, realizou-se um estudo comparativo entre as recomendações obtidas com o modelo e com a aplicação tradicional da FMEA (similar a outras abordagens já utilizadas nos trabalhos da CPP), onde constatou-se que houve várias inversões nas posições do ranking de prioridade dos riscos, refletindo assim a capacidade que o modelo proposto tem em estimar objetivamente uma definição mais segura para cenários de risco nas CS.

E para ratificar a eficácia do modelo proposto, realizou-se uma análise de sensibilidade sobre as recomendações obtidas, em dois cenários distintos, com base em métodos para estimação dos parâmetros α e β . Como não houve variação no resultado do comportamento das alternativas (riscos), foi possível concluir que os resultados obtidos são confiáveis e o modelo consistente.

Por este motivo, o estudo desenvolvido permitiu mesmo que de forma estimativa, visto que não foi possível implementar e consolidar as recomendações obtidas, a comprovação de que a agregação das avaliações dos múltiplos decisores com base na aplicação da CPP sobre o cálculo das prioridades na FMEA e a inclusão de múltiplos especialistas mediante o coeficiente de concordância W de Kendall, mostrou-se ser um eficiente mecanismo quanto ao tratamento de imprecisões e incertezas na ordenação de riscos em CS, independentemente do nível de complexidade e do número de riscos envolvidos.

Além do mais percebe-se o grande potencial deste procedimento na contribuição do GR nas cadeias, tendo em vista que serve de alerta para os gestores quanto a necessidade de se analisar melhor a priorização dos modos de falha que incidem em suas organizações, de modo a contribuir com o melhor direcionamento dos investimentos e minimização dos custos envolvidos.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Esse trabalho, além de representar uma contribuição para a literatura no que diz respeito a priorização de riscos em CS envolvendo a inclusão de múltiplos decisores na análise e a agregação de suas análises, cria a oportunidade para outras propostas. Algumas sugestões para trabalhos futuros, dentro desse contexto, são:

- a) replicar o referido modelo em outras cadeias e realizar um estudo comparativo entre os riscos mais impactantes de cada contexto;
- b) propor ações para mitigar os riscos mais impactantes;
- c) avaliar a influência do nº de decisores para a sensibilidade da agregação pelo coeficiente de concordância w de Kendall;

REFERÊNCIAS

- ABDELLAOUI, M.; BLEICHRODT, H.; PARASCHIV, C. Loss aversion under prospect theory: a parameter-free measurement. **Management Science**, v. 53, n. 10, p. 1659–1674, out. 2007.
- AGUIAR, E. C.; TORTATO, U.; GONÇALVES, M. A. Riscos e gestão de riscos em cadeias de suprimentos: uma síntese da literatura. **Espacios**, v. 33, n. 8, 2012.
- ALMEIDA, A. T. *et al.* **Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações**. 1ª ed. São Paulo, Atlas, 2012.
- ALMEIDA, A. T. *et al.* **Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis**. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013.
- ALMEIDA, R. G.; SANT'ANNA, A. P. Composição probabilística na avaliação do risco de operadoras de planos de assistência à saúde. **Revista Brasileira de Risco e Seguro**, v. 6, n. 11, p. 41, 2009.
- ANDRADE, G. N.; SANT'ANNA, A. P. Composição probabilística e índice de Malmquist para avaliação de eficiência em distribuidoras de energia elétrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLV, 2013, Natal-RN. **Anais...** Natal: SBPO, 2013, p. 937-948.
- AVEN, T. On how to define, understand and describe risk. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 95, n. 6, p. 623–631, jun. 2010.
- AVEN, T. *et al.* SRA glossary. **The Society For Risk Analysis**, p. 1–16, 2015.
- BAKER, S.; PONNIAH, D.; SMITH, S. Survey of risk management in major U.K. companies. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 125, n. 3, p. 94–102, jul. 1999.
- BECKER, K.; SMIDT, M. A risk perspective on human resource management: A review and directions for future research. **Human Resource Management Review**, v. 26, n. 2, p. 149–165, 2016.
- BIRNBAUM, M. H. New paradoxes of risky decision making. **Psychological Review**, v. 115, n. 2, p. 463–501, 2008.
- BLACKHURST, J. *et al.* An empirically derived agenda of critical research issues for managing supply-chain disruptions. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 19, p. 4067–4081, out. 2005.
- BLOME, C.; SCHOENHERR, T. Supply chain risk management in financial crises - A multiple case-study approach. **International Journal of Production Economics**, v. 134, n. 1, p. 43–57, nov. 2011.

- BLOS, M. F. *et al.* Supply chain risk management (SCRM): a case study on the automotive and electronic industries in Brazil. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 14, n. 4, p. 247–252, 19 jun. 2009.
- BODE, C. *et al.* Understanding responses to supply chain disruptions: insights from information processing and resource dependence perspectives. **The Academy of Management Journal**, v. 54, n. 4, p. 833–856, 2011.
- BORGONOVO, E. *et al.* Risk analysis and decision theory: A bridge. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 1, p. 280–293, jan. 2018.
- BOTTOMLEY, P. A.; DOYLE, J. R.; GREEN, R. H. Testing the reliability of weight elicitation methods: direct rating versus point allocation. **Journal of Marketing Research**, v. 37, n. 4, p. 508–513, 2000.
- BOWLES, J. B. An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2003. **Anais...**Columbia: IEEE, 2003.
- BOWLES, J. B.; PELÁEZ, C. E. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 50, n. 2, p. 203–213, 1995.
- CAILLAUX, M. A. *et al.* Container logistics in Mercosur: choice of a transshipment port using the ordinal Copeland method, data envelopment analysis and probabilistic composition. **Maritime Economics and Logistics**, v. 13, n. 4, p. 355–370, 2011.
- CÂNDEA, G.; KIFOR, S.; CONSTANTINESCU, C. Usage of case-based reasoning in FMEA-driven software. **Procedia CIRP**, v. 25, n. 10, p. 93–99, 2014.
- CARLSON, C. **Effective FMEAs: achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis**. 1ª ed. Hoboken, NJ-USA, John Wiley & Sons, 2012.
- CASADO, R. S. G. R.; SANTOS, L. V. B.; SILVA, L. C. E. Proposta de gestão de riscos na cadeia de suprimentos com base na composição probabilística: estudo no APL de confecções do agreste pernambucano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVIII, 2016, Vitória-ES. **Anais...** Vitória: SBPO, 2016, p. 1–3.
- CASADO, R. S. G. R.; SILVA, L. C. E. Avaliação de risco no APL de confecção do agreste de Pernambuco: uma abordagem da Composição Probabilística com base na FMEA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLIX, 2017, Blumenau-SC. **Anais...** Blumenau: SBPO, 2017, p. 1-11.
- CAVINATO, J. L. Supply chain logistics risks. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 34, n. 5, p. 383–387, jun. 2004.
- CHANG, K.-H.; CHENG, C.-H. Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 22, n. 2, p. 113–129, 3 abr. 2011.
- CHANG, K. H. Evaluate the orderings of risk for failure problems using a more general RPN

methodology. **Microelectronics Reliability**, v. 49, n. 12, p. 1586–1596, 2009.

CHANG, W. L.; PANG, L. M.; TAY, K. M. Application of self-organizing map to failure modes and effects analysis methodology. **Neurocomputing**, v. 249, p. 314–320, ago. 2017.

CHEN, S. J.; HWANG, C.-L. **Fuzzy multiple attribute decision making**. 1^a ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1992. v. 375

CHOPRA, S.; SODHI, M. S. Managing risk to avoid supply-chain breakdown. **MIT Sloan Management Review**, v. 46, n. 1, p. 53–61, 2004.

CHOUDHRY, R. M.; IQBAL, K. Identification of risk management system in construction industry in Pakistan. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, n. 1, p. 42–49, jan. 2013.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & supply chain management**. 5th. ed. [s.l.] FT Press, 2016.

CHRISTOPHER, M.; PECK, H. Building the resilient supply chain. **The International Journal of Logistics Management**, v. 15, n. 2, p. 1–13, 2004.

COHEN, M. A.; KUNREUTHER, H. Operations risk management: overview of Paul Kleindorfer's contributions. **Production and Operations Management**, v. 16, n. 5, p. 525–541, 5 jan. 2007.

COLICCHIA, C.; STROZZI, F. Supply chain risk management: a new methodology for a systematic literature review. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 17, n. 4, p. 403–418, 2012.

COMES, T.; HIETE, M.; SCHULTMANN, F. An approach to multi-criteria decision problems under severe uncertainty. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 20, n. 1–2, p. 29–48, 1 jan. 2013.

CONDE, F. Q.; SANT'ANNA, A. P. Composição probabilística na avaliação de call centers. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, 9(7): 1-28, 2004.

COSTA, C. A. B. E; VANSNICK, J.-C. Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH. **Investigação Operacional**, v. 15, p. 15–35, 1995.

COUTO, M. P. P.; CARVALHO, A. L. Utilização do FMEA para análise de processos administrativos em uma instituição de ensino superior. **Percorso Acadêmico**, v. 5, n. 10, p. 445–472, 2015.

DAI, J.; MENG, W. A risk-averse newsvendor model under marketing-dependency and price-dependency. **International Journal of Production Economics**, v. 160, p. 220–229, fev. 2015.

DAKKOUNE, A. *et al.* Risk analysis of French chemical industry. **Safety Science**, v. 105, p. 77–85, jun. 2018.

DAMANAB, P. S. *et al.* Failure modes and effects analysis (FMEA) technique: a literature review. **Scientific Journal of Review**, v. 4, n. 1, p. 1–6, 2015.

DANI, S. Predicting and managing supply chain risks. In: Zsidisin G.A., Ritchie B. (eds). **Supply chain risk: a handbook of assessment, management, and performance**, Boston-MA: Springer, 2009. p. 53–66.

DAVOUDPOUR, Z.; SABOURI, F. Applying FMEA technique in urbanization to prevent and solve the problems of urban spaces: a case study of daneshjoo park in tehran. **Research and Urban Planning**, v. 3, n. 10, p. 125–146, 2012.

DELIGNETTE-MULLER, M. L.; DUTANG, C. Fitdistrplus: An R package for fitting distributions. **Journal of Statistical Software**, v. 64, n. 4, 2014.

DESIMPELAERE, C.; MARCHANT, T. An empirical test of some measurement-theoretic axioms for fuzzy sets. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 158, n. 12, p. 1348–1359, jun. 2007.

DOANE, D. P.; SEWARD, L. E. **Estatística aplicada à administração e economia**. 4ª ed. Porto Alegre-RS: AMGH Editora Ltda, 2014.

DONATO, F. A. S.; ROSSI, M. A. M.; BEZERRA, E. P. G. O Impacto de um processo de planejamento colaborativo sobre a gestão dos riscos na cadeia de suprimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVII, Foz do Iguaçu-PR, 2007. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2007, p. 1-12.

DURBACH, I. N. An empirical test of the evidential reasoning approach's synthesis axioms. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 12, p. 11048–11054, 15 set. 2012.

DURBACH, I. N.; STEWART, T. J. Using expected values to simplify decision making under uncertainty. **Omega**, v. 37, n. 2, p. 312–330, 1 abr. 2009.

_____. A comparison of simplified value function approaches for treating uncertainty in multi-criteria decision analysis. **Omega**, v. 40, n. 4, p. 456–464, 1 ago. 2012.

EBELING, C. E. **An introduction to reliability and maintainability engineering**. 2ª ed. [s.l.] Waveland Press, 2010.

EBRAHIMZADEH, M. Evaluation of the potential risks in Shiraz refinery with analysis of risk scenarios and the effects of the FMEA. **Journal of Occupational Medicine Specialist**, 2011.

ELLEGAARD, C. Supply risk management in a small company perspective. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 13, n. 6, p. 425–434, 26 set. 2008.

ELLEUCH, H.; HACHICHA, W.; CHABCHOUB, H. A combined approach for supply chain risk management: description and application to a real hospital pharmaceutical case study. **Journal of Risk Research**, v. 17, n. 5, p. 641–663, 28 maio 2014.

FAISAL, M. N.; BANWET, D. K.; SHANKAR, R. Supply chain risk mitigation: modeling the enablers. **Business Process Management Journal**, v. 12, n. 4, p. 535–552, jul. 2006.

FAN, H. *et al.* An information processing perspective on supply chain risk management: Antecedents, mechanism, and consequences. **International Journal of Production Economics**, v. 185, p. 63–75, mar. 2017.

FISHER, P. J.; YAO, R. Gender differences in financial risk tolerance. **Journal of Economic Psychology**, v. 61, p. 191–202, ago. 2017.

FORBES, C. *et al.* **Statistical distributions**. 4^a ed. ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

GAONKAR, R. S.; VISWANADHAM, N. Analytical framework for the management of risk in supply chains. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 4, n. 2, p. 265–273, abr. 2007.

GARCIA, P. *et al.* Combined use of composition of probabilistic preferences and entropy weighting for failure mode prioritization. In: **Safety and Reliability of Complex Engineered Systems**. 1^a ed. London, CRC Press, 2015b. p. 381–386.

GARCIA, P. *et al.* Probabilistic preferences composition for failure mode prioritization in FMEA. In: **Safety, Reliability And Risk Analysis: Beyond The Horizon**. 1^a ed. Amsterdam, 2014, p. 3109-3113.

GARCIA, P. A. A. Uma abordagem via análise envoltória de dados para o estabelecimento de melhorias em segurança baseadas na FMEA. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 1, p. 87–97, 2013.

GARCIA, P. A. A.; JUNIOR, I. C. L.; GUIMARÃES, V. DE A. Application of the composition of probabilistic preferences in modal choice for freight transportation of hazardous materials. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVII, 2015a, Porto de Galinhas-PE. **Anais...** Porto de Galinhas: SBPO, 2015a. p.254-265.

GARCIA, P. A. A.; SANT'ANNA, A. P. Vendor and logistics provider selection in the construction sector: a probabilistic preferences composition approach. **Pesquisa Operacional (Online)**, v. 35, n. 2, p. 363–375, 2015.

GAVIÃO, L. O. *et al.* Assessment of the “Disrupt-O-Meter” model by ordinal multicriteria methods. **RAI - Revista de Administração e Inovação**, v. 13, n. 4, p. 305–314, 2016a.

GAVIÃO, L. O. *et al.* Integrando a simulação de Monte Carlo e a composição probabilística de preferências com distribuições empíricas em problemas de decisão em grupo: aplicação em FMEA. In: CONGRESSO DE APLICAÇÕES DE LINGUAGEM R EM ADMINISTRAÇÃO, I, 2016b, Rio de Janeiro-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: CARA, 2016b, p. 1–13.

GAVIÃO, L. O. *et al.* Ordenação de municípios por potencial de contaminação de águas com fármacos oncológicos por composição probabilística de preferências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVIII, 2016c, Vitória-ES. **Anais...** Vitória: SBPO, 2016c, p. 564–575.

GAVIÃO L. O. *et al.* Improving discrimination in efficiency analysis of bioethanol processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1525–1532, 2017a.

GAVIÃO, L. O.; SANT'ANNA, A. P.; LIMA, G. B. A. A composição probabilística de preferências com medidas de desigualdade: correlações com os pontos de vista progressista e conservador. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLIX, 2017b, Blumenau-SC, **Anais...** Blumenau: SBPO, 2017b p. 1-12.

_____. Uma nova abordagem aplicada ao conceito Moneyball com apoio da composição probabilística de preferências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLIX, 2017c, Blumenau-SC. **Anais...** Blumenau: SBPO, 2017c. p. 1-12.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1ª ed. Porto Alegre-RS: Editora da UFRGS, 2009.

GHADGE, A.; DANI, S.; KALAWSKY, R. Supply chain risk management: present and future scope. **The International Journal of Logistics Management**, v. 23, n. 3, p. 313–339, 2 nov. 2012.

GIANNAKIS, M.; LOUIS, M. A multi-agent based framework for supply chain risk management. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 17, n. 1, p. 23–31, mar. 2011.

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

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12ª edição ed. Brasil: Pearson, 2010.

GRECO, S.; INUIGUCHI, M.; SLOWINSKI, R. Fuzzy rough sets and multiple-premise gradual decision rules. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 41, n. 2, p. 179–211, fev. 2006.

GREEN, P. E. J. **Enterprise risk management: a common framework for the entire organization**. 1ª ed. Oxford-UK, Butterworth-Heinemann, 2015.

GUO, Y. Research on knowledge-oriented supply chain risk management system model. **Journal of Management and Strategy**, v. 2, n. 2, 28 jun. 2011.

GURNANI, H.; MEHROTRA, A.; RAY, S. **Supply chain disruptions: theory and practice of managing risk**. London: Springer London, 2012.

HAGIGI, M.; SIVAKUMAR, K. Managing diverse risks: an integrative framework. **Journal of International Management**, v. 15, n. 3, p. 286–295, set. 2009.

HALLIKAS, J. *et al.* Risk management processes in supplier networks. **International Journal of Production Economics**, v. 90, n. 1, p. 47–58, jul. 2004.

HALLIKAS, J.; VIROLAINEN, V.-M.; TUOMINEN, M. Risk analysis and assessment in network environments: A dyadic case study. **International Journal of Production Economics**, v. 78, n. 1, p. 45–55, jul. 2002.

HANFIELD, R. B.; NICHOLS, E. L. **Introduction to supply chain management**. 1ª ed. Prentice Hall, 1998.

HARLAND, C.; BRENCHLEY, R.; WALKER, H. Risk in supply networks. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 9, n. 2, p. 51–62, mar. 2003.

HO, W. *et al.* Supply chain risk management: a literature review. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 16, p. 5031–5069, 2015.

- HOLTON, G. A. Defining risk. **Financial Analysts Journal**, v. 60, n. 6, p. 19–25, nov. 2004.
- IRIMIA-DIÉGUEZ, A. I.; SANCHEZ-CAZORLA, A.; ALFALLA-LUQUE, R. Risk management in megaprojects. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 119, p. 407–416, mar. 2014.
- JAAFARI, A. Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift. **International Journal of Project Management**, v. 19, n. 2, p. 89–101, fev. 2001.
- JABLONOWSKI, M. **Precautionary risk management: dealing with catastrophic loss potentials in business, the community and society**. 1^a ed. London: Palgrave Macmillan UK, 2006.
- JAIN, S.; KHARE, M. Construction of fuzzy membership functions for urban vehicular exhaust emissions modeling. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 167, n. 1–4, p. 691–699, 15 ago. 2010.
- JIA, F.; RUTHERFORD, C. Mitigation of supply chain relational risk caused by cultural differences between China and the West. **The International Journal of Logistics Management**, v. 21, n. 2, p. 251–270, 16 ago. 2010.
- JUNIOR, J. B. DE C. *et al.* Coopetição como estratégia de auxílio na gestão de riscos em cadeias de suprimentos. **Revista Ibero-Americana de Estratégia**, v. 13, n. 2, p. 38–53, 1 jun. 2014.
- JÜTTNER, U. Supply chain risk management. **The International Journal of Logistics Management**, v. 16, n. 1, p. 120–141, jun. 2005.
- JÜTTNER, U.; PECK, H.; CHRISTOPHER, M. Supply chain risk management: outlining an agenda for future research. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 6, n. 4, p. 197–210, 12 dez. 2003.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. 1^a ed. Cambridge University Press, 1993.
- KERN, D. *et al.* Supply risk management: model development and empirical analysis. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 42, n. 1, p. 60–82, 27 jan. 2012.
- KERZNER, H. R. **Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling**. 11^a ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- KHAN, O.; BURNES, B. Risk and supply chain management: creating a research agenda. **The International Journal of Logistics Management**, v. 18, n. 2, p. 197–216, 21 ago. 2007.
- KIM, K. O.; ZUO, M. J. General model for the risk priority number in failure mode and effects analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 169, p. 321–329, 2018.
- KIRAN, D. R. Failure modes and effects analysis. In: **Total Quality Management**. 1^a ed. Butterworth-Heinemann, 2017. p. 373–389.

KLEINDORFER, P. R.; SAAD, G. H. Managing disruption risks in supply chains. **Production and Operations Management**, v. 14, n. 1, p. 53–68, 5 jan. 2005.

KRITZINGER, D. **Aircraft system safety: assessments for initial airworthiness certification**. 1ª ed. Amsterdam: Woodhead Publishing, 2017.

KROKHMAL, P.; ZABARANKIN, M.; URYASEV, S. Modeling and optimization of risk. **Surveys in Operations Research and Management Science**, v. 16, n. 2, p. 49–66, jul. 2011.

LAHDELMA, R.; HOKKANEN, J.; SALMINEN, P. SMAA - Stochastic multiobjective acceptability analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 106, n. 1, p. 137–143, 1 abr. 1998.

LAMBERT, D. M. Supply chain management: processes, partnerships, performance. In: **Dimensionen der Logistik**. Wiesbaden: Supply Chain Management Institute (SCMI), 2010. p. 553–572.

LAURENTI, R.; VILLARI, B. D.; ROZENFELD, H. Problemas e melhorias do método FMEA: uma revisão sistemática da literatura. **P&D em Engenharia de Produção**, v. 10, n. 1, p. 59–70, 2012.

LAVASTRE, O.; GUNASEKARAN, A.; SPALANZANI, A. Supply chain risk management in French companies. **Decision Support Systems**, v. 52, n. 4, p. 828–838, 1 mar. 2012.

LEE, H. L.; WOLFE, M. Supply chain security without tears. **Supply Chain Management Review**, v. 7, n. 3, p. 12–20, 2003.

LEHTIRANTA, L. Risk perceptions and approaches in multi-organizations: A research review 2000–2012. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 4, p. 640–653, maio 2014.

LETTA, M. C. K. *et al.* Análise de risco de operações em instalações especiais com aplicação da composição probabilística de preferências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVIII, Vitória-ES. **Anais...** Vitória: SBPO, 2016, p. 1–12.

LIU, H.-C. C.; LIU, L.; LIU, N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 2, p. 828–838, fev. 2013.

LIU, H.-C. *et al.* Failure mode and effects analysis using D numbers and grey relational projection method. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 10, p. 4670–4679, ago. 2014.

LIU, H.-C. *et al.* Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 4, p. 4403–4415, 1 abr. 2011.

LIU, H.-C. *et al.* Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 17, p. 12926–12934, dez. 2012.

LOLLI, F. *et al.* FlowSort-GDSS – A novel group multi-criteria decision support system for sorting problems with application to FMEA. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n.

17–18, p. 6342–6349, out. 2015.

MABROUKI, C.; BENTALEB, F.; MOUSRIJ, A. A decision support methodology for risk management within a port terminal. **Safety Science**, v. 63, p. 124–132, mar. 2014.

MANUJ, I.; MENTZER, J. T. Global supply chain risk management strategies. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 38, n. 3, p. 192–223, 11 abr. 2008.

MARTHA, J.; SUBBAKRISHNA, S. Targeting a just-in-case supply chain for the inevitable next disaster. **Supply Chain Management Review**, v. 6, n. 5, p. 18–23, set. 2002.

MATOOK, S.; LASCH, R.; TAMASCHKE, R. Supplier development with benchmarking as part of a comprehensive supplier risk management framework. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 3, p. 241–267, 20 fev. 2009.

MCCORMACK, K.; BRONZO, M.; OLIVEIRA, M. P. V. DE. Uma abordagem probabilística para a avaliação de riscos em cadeias de suprimento. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 3, p. 577–598, 2010.

MENTZER, J. T. *et al.* Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 22, n. 2, p. 1–25, set. 2001.

MIGUEL, P. A. C. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. 2^a ed. Rio de Janeiro,-RJ.: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MILLER, K. D. A Framework for integrated risk management in international business. **Journal of International Business Studies**, v. 23, n. 2, p. 311–331, 1 jun. 1992.

MITROFF, I. *et al.* On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole Systems Phenomenon. **Interfaces**, v. 4, n. 3, p. 46–58, 1974.

MONTEVECHI, J. A. B. *et al.* Identification of the main methods used in simulation projects. **Winter Simulation Conference (WSC)**, p. 3469–3480, 2015.

MOREIRA, D. R.; SANT'ANNA, A. P. Análise de eficiência em tratamentos cirúrgicos em período de mudança tecnológica. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 10, n. 1, p. 1-31, 2010.

MOSADEGHI, R. *et al.* Uncertainty analysis in the application of multi-criteria decision-making methods in Australian strategic environmental decisions. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 56, n. 8, p. 1097–1124, out. 2013.

MULLAI, A. Risk management system: a conceptual model. In: **Supply Chain Risk**. Boston, MA: Springer, 2009. p. 83–101.

NARAYANAGOUNDER, S.; GURUSAMI, K. A new approach for prioritization of failure modes in design FMEA using ANOVA. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, v. 3, n. 1, p. 73–80, 2009.

NORRMAN, A.; JANSSON, U. Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident. **International Journal of Physical Distribution &**

Logistics Management, v. 34, n. 5, p. 434–456, jun. 2004.

ODA, É.; MARQUES, C. F. **Atividades técnicas na operação logística**. Curitiba: IESDE: Brasil S. A., 2012.

OEHMEN, J. *et al.* System-oriented supply chain risk management. **Production Planning & Control**, v. 20, n. 4, p. 343–361, 11 jun. 2009.

OLIVEIRA, U. R. *et al.* The ISO 31000 standard in supply chain risk management. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 616–633, maio 2017.

OLIVEIRA, V. F.; CAVENAGHI, V.; MÁSCULO, F. S. **Tópicos emergentes e desafios metodológicos em engenharia de produção: casos, experiências e proposições**. 5ª ed. Rio de Janeiro-RJ: ABEPRO, 2012.

OSIPOVA, E.; ERIKSSON, P. E. Balancing control and flexibility in joint risk management: Lessons learned from two construction projects. **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 3, p. 391–399, abr. 2013.

PALADY, P. **FMEA - análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 3ª ed. São Paulo, SP.: IMAM, 2004.

PALMEIRA, J. N. B. **Aplicação das metodologias FMEA-FUZZY para a gestão de riscos na cadeia de suprimentos em empresas do APL de confecções do agreste pernambucano**. 2016. 99f. (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016.

PARRA, P. H.; PIRES, S. R. I. Análise da gestão da cadeia de suprimentos na indústria de computadores. **Gestão & Produção**, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2003.

PAULSSON, U.; NORRMAN, A. Supply chain risk management articles - external characteristics and contents. **International Supply Chain Risk Management Conference**. Manchester Metropolitan University, 2003.

PECK, H. Understanding the sources and drivers of supply chain risk. In: **The Financial Times Handbook of Management**. 3ª ed. London: Pearson Publishing, 2004.

PFOHL, H.-C.; KÖHLER, H.; THOMAS, D. State of the art in supply chain risk management research: empirical and conceptual findings and a roadmap for the implementation in practice. **Logistics Research**, v. 2, n. 1, p. 33–44, 28 jun. 2010.

PIGATTO, G.; ALCANTARA, R. L. C. Relacionamento colaborativo no canal de distribuição: uma matriz para análise. **Gest. Prod.**, v. 14, n. 1, p. 155–167, 2007.

PILLAY, A.; WANG, J. Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 79, n. 1, p. 69–85, jan. 2003.

POIRIER, C. C.; REITER, S. E. **Otimizando sua rede de negócios**. 1ª ed. São Paulo: Editora Futura, 1997.

PONOMAROV, S. Y.; HOLCOMB, M. C. Understanding the concept of supply chain resilience. **The International Journal of Logistics Management**, v. 20, n. 1, p. 124–143,

2009.

PÖYHÖNEN, M.; HÄMÄLÄINEN, R. P. On the convergence of multiattribute weighting methods. **European Journal of Operational Research**, v. 129, n. 3, p. 569–585, 16 mar. 2001.

PRINCIPE, V. *et al.* Multicriteria analysis of football match performances: composition of probabilistic preferences applied to the english premier league 2015/2016. **Pesquisa Operacional**, v. 37, n. 2, p. 333–363, 2017.

QAZI, A.; QUIGLEY, J.; DICKSON, A. Supply chain risk management: systematic literature review and a conceptual framework for capturing interdependencies between risks. **International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)**. Anais...IEEE, mar. 2015

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RANGEL, D. A.; OLIVEIRA, T. K.; LEITE, M. S. A. Supply chain risk classification: discussion and proposal. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 22, p. 6868–6887, 17 nov. 2015.

RAZ, T.; SHENHAR, A. J.; DVIR, D. Risk management, project success, and technological uncertainty. **R and D Management**, v. 32, n. 2, p. 101–109, mar. 2002.

RICE, J. B.; CANIATO, F. Building a secure and resilient supply network. **Supply Chain Management Review**, v. 7, n. 5, p. 22–30, 2003.

RITCHIE, B.; BRINDLEY, C. An emergent framework for supply chain risk management and performance measurement. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 58, n. 11, p. 1398–1411, 2007.

ROY, B. Classement et choix en présence de points de vue multiples. **Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle**, v. 2, n. 1, p. 57–75, 1968.

RUSKIN, J. **The complete works of John Ruskin: on the old road; volumes one and two**. Forgotten Books: 2018, p. 156.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process: what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987.

SANKAR, R. N.; PRABHU, B. S. Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 18, n. 3, p. 324–336, abr. 2001.

SANT'ANNA, A. P. Aleatorização e composição de medidas de preferência. **Pesquisa Operacional**, v. 22, n. 1, p. 87–103, 2002a.

_____. Cálculo probabilístico de produtividades globais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XXXIV, 2002b, Rio de Janeiro-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SBPO, 2002b, p. 900-909.

_____. Cálculo probabilístico de produtividades globais no ensino de pós-graduação em engenharia de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, VIII, 2002c, Petrópolis-RJ. **Anais...** Petrópolis: COBENGE, 2002c.

_____. Uma estrutura para análise da composição de preferências. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXIV, 2004, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: ENEGEP, 2004. p. 2990-2997.

_____. Composição probabilística de critérios na avaliação de cursos. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 2, n. 3, p. 40–54, 2005.

_____. Probabilistic composition of criteria for schedule monitoring. **Pesquisa Operacional (Impresso)**, v. 30, n. 3, p. 751–767, 2010.

_____. Probabilistic priority numbers for failure modes and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 29, n. 3, p. 349–362, 2012.

_____. Detalhamento de uma metodologia de classificação baseada na composição probabilística de preferências. **Relatório de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 13. p. 12-21, 2013a.

_____. Procedimento de cálculo para a composição probabilística de preferências. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 13. p. 1-11, 2013b.

_____. Alternativas probabilísticas para a composição do indicador de desenvolvimento humano. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, X, 2014, Rio de Janeiro-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: CNEG, 2014, p. 1-16.

_____. **Probabilistic composition of preferences, theory and applications**. 1ª ed. Cham: Springer International Publishing, 2015a.

_____. Probabilistic human development indices. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 12, n. 1, p. 136–146, 2015b.

SANT'ANNA, A. P. *et al.* Beta distributed preferences in the comparison of failure modes. **Procedia Computer Science**, v. 55, n. Itqm, p. 862–869, 2015a.

_____. Composição de avaliações de múltiplos especialistas na comparação de modos de falha em usina nuclear. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVII, 2015b, Porto de Galinhas-PE. **Anais...** Porto de Galinhas: SBPO, 2015b, p. 1-12.

SANT'ANNA, A. P. *et al.* A probabilistic approach applied to the classification of courses by multiple evaluators. **Pesquisa Operacional**, v. 36, n. 3, p. 469–485, 2016.

SANT'ANNA, A. P.; ABREU, R. V. Um instrumento para avaliação das igrejas cristãs. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 7, n. 9, p. 1-20, 2007.

SANT'ANNA, A. P.; CONDE, F. Q. Probabilistic comparison of call centres in a group decision process. **International Journal of Management and Decision Making**, v. 11, n. 5/6, p. 417–437, 2011.

SANT'ANNA, A. P.; FERREIRA, M. H.; DUARTE, S. R. A. Composição probabilística e

DEA na avaliação do desempenho sustentável no setor energético. **Engevista (UFF)**, v. 14, n. 2, p. 196–212, 2012a.

_____. Avaliação do desempenho de empresas utilizando a composição probabilística de índices financeiros. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 4, n. 3, p. 304–324, 2012b.

_____. Comparison of sustainability indices applied to the electrical sector in Brazil. **International Journal of Environmental Policy and Decision Making**, v. 1, n. 2, p. 162–179, 2014.

SANT'ANNA, A. P.; GAVIÃO, L. O.; LIMA, G. B. A. A probabilistic approach to the inequality adjustment of the human development index. **Pesquisa Operacional (Impresso)**, 2017.

SANT'ANNA, A. P.; GOMES, L. F. A. M. New evidence on the formation of preferences of betters in horse races. **Revista Produção Online**, v. 3, n. 3, p. 1-6, 2003.

SANT'ANNA, A. P.; MELLO, J. C. C. B. S. Validating rankings in soccer championships. **Pesquisa Operacional**, v. 32, n. 2, p. 407–422, ago. 2012.

SANT'ANNA, A. P.; MEZA, L. A.; RIBEIRO, R. O. A. Probabilistic composition in quality management in the retail trade sector. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 31, n. 6, p. 718–736, 27 maio 2014.

SANT'ANNA, A. P.; OLIVEIRA, C. A. Complementando DEA com o cálculo probabilístico de produtividades globais na comparação de desempenhos em um segmento do setor público. **Pesquisa Naval (SDM)**, Rio de Janeiro,-RJ, 16: 277-294, 2003.

SANT'ANNA, A. P.; PAIXÃO, M. M. Avaliação probabilística de otimalidades aplicada aos cursos de pós-graduação em engenharia mecânica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XXXVIII, 2006, Goiânia-GO. **Anais...** Goiânia: SBPO, 2006, p. 362-373.

SANT'ANNA, A. P.; RIBEIRO, R. O. A.; DUTT-ROSS, S. Employing the components of the human development index to drive resources to educational policies. **Social Indicators Research**, v. 104, n. 3, p. 523–532, 2011c.

SANT'ANNA, A. P.; SENNA, V.; PEREIRA, H. B. B. Composition of probabilistic evaluations of preferences: A case of criteria applied to isolated and clustered options. **International Transactions in Operational Research**, v. 18, n. 4, p. 513–526, 2011b.

SANT'ANNA, A. P.; SILVA, D. C. D. Análise multicritério de materiais para a síntese de catalisadores automotivos. **Engevista (UFF)**, v. 13, n. 3, p. 226–243, 2011.

SANT'ANNA, L. A. F. P.; SANT'ANNA, A. P. A probabilistic approach to evaluate the exploitation of the geographic situation of hydroelectric plants. **Energy Policy**, v. 36, n. 7, p. 2320–2329, jul. 2008.

_____. Avaliação probabilística do aproveitamento da localização de usinas hidrelétricas. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, Niterói-RJ, v. 6, n. 9, p.1-19, 2006.

SANT ANNA, A. P.; NOGUEIRA, H. D.; RABELO, L. M. Comparação entre métodos multicritério em um modelo para avaliação da qualidade de ativos de renda variável. **Revista de Finanças Aplicadas**, v. 1, p. 1–21, 2011a.

_____. Probabilistic composition for fast group decisions. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 8, n. 1, p. 65–82, 2011d.

SANTANNA, A. P.; JÚNIOR, R. P. S. P. Composição probabilística no cálculo das prioridades na FMEA. **Sistemas & Gestão**, v. 5, n. 3, p. 179–191, 2010.

SEBRAE. **Estudo econômico do arranjo produtivo local de confecções do agreste pernambucano, 2012. Relatório final**, 2013. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Estudo%20Economico%20do%20APL%20de%20Confeccoes%20do%20Agreste%20-%20%2007%20de%20MAIO%202013%20%20docx.pdf>>. Acesso em: 10 de jul. 2017.

SEYED-HOSSEINI, S. M.; SAFAEI, N.; ASGHARPOUR, M. J. Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 91, n. 8, p. 872–881, ago. 2006.

SHAER, S.; GOEDHART, J. Risk and the consolidated supply chain: rethinking established best practices. **APICS Magazine**, v. 19, n. 4, p. 41–43, 2009.

SHEFFI, Y.; RICE, J. B. A supply chain view of the resilient enterprise. **MIT Sloan Management Review**, v. 47, n. 1, p. 41–48, 2005.

SHI, D. A review of enterprise supply chain risk management. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 13, n. 2, p. 219–244, abr. 2004.

SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. J. **Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento**. 2ª ed. Porto Alegre, RS.: Bookman, 2006.

SILVA, A. J. F. *et al.* Aplicação da composição probabilística de preferência na priorização de cenários críticos de riscos. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, XI, 2015, Rio de Janeiro-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: CNEG, 2015, p. 1-14.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis, SC.: UFSC, 2005.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Managing the supply chain: the definitive guide for the business professional**. 1ª ed. McGraw-Hill Education, 2004.

SINGHAL, P.; AGARWAL, G.; MITTAL, M. L. Supply chain risk management: review, classification and future research directions. **Int. Journal of Business Science and Applied Management**, v. 6, n. 3, 2011.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3ª ed. Editora Atlas, 2009.

SOUZA, F. M. C. **Decisões racionais em situações de incerteza**. 2ª ed. Recife, PE.: Vade Mecum Ltda, 2007.

SOUZA, R. G. *et al.* Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. **Waste Management**, v. 57, p. 46–56, nov. 2016.

SPREAFICO, C.; RUSSO, D.; RIZZI, C. A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents. **Computer Science Review**, v. 25, p. 19–28, ago. 2017.

SREEDEVI, R.; SARANGA, H. Uncertainty and supply chain risk: the moderating role of supply chain flexibility in risk mitigation. **International Journal of Production Economics**, v. 193, n. July, p. 332–342, 2017.

STADTLER, H.; KILGER, C. **Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software and case studies**. Berlin: Springer, 2015.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. [s.l.] ASQ Quality Press, 2003.

STOCK, J. R. A research view of supply chain management: developments and topics for exploration. **Orion**, v. 25, n. 2, p. 147–160, 2009.

STONEBURNER, G.; GOGUEN, A.; FERINGA, A. Risk management guide for information technology systems: recommendations of the national institute of standards and technology. **NIST Special Publication** 800-30. p. 1-55, 2002.

SUTER, G. W. **Ecological risk assessment**. 2^a ed. Lewis Publishers, 2006.

TANG, O.; MUSA, N. S. Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. **International Journal of Production Economics**, v. 133, n. 1, p. 25–34, set. 2011.

THEODORE, L.; DUPONT, R. R. **Environmental health and hazard risk assessment: principles and calculations**. 1^a ed. New York: CRC Press, 2012.

TOMAS, R. N.; ALCANTARA, R. L. C. Modelos para gestão de riscos em cadeias de suprimentos: revisão, análise e diretrizes para futuras pesquisas. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 3, p. 695–712, 2013.

TREINTA, F. T. *et al.* Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. **Production**, v. 24, n. 3, p. 508–520, 2014.

TRKMAN, P.; MCCORMACK, K. Supply chain risk in turbulent environments: a conceptual model for managing supply chain network risk. **International Journal of Production Economics**, v. 119, n. 2, p. 247–258, jun. 2009.

TUMMALA, R.; SCHOENHERR, T. Assessing and managing risks using the supply chain risk management Process (SCRMP). **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 16, n. 6, p. 474–483, 2011.

TUNCEL, G.; ALPAN, G. Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. **Computers in Industry**, v. 61, n. 3, p. 250–259, abr. 2010.

VANANY, I.; ZAILANI, S.; PUJAWAN, N. Supply chain risk management. **International Journal of Information Systems and Supply Chain Management**, v. 2, n. 1, p. 16–33,

2009.

WAGNER, S. M.; BODE, C. An empirical investigation into supply chain vulnerability. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 12, n. 6, p. 301–312, nov. 2006.

_____. An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk. **Journal of Business Logistics**, v. 29, n. 1, p. 307–325, mar. 2008.

WANG, Y.-M. *et al.* Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 2, p. 1195–1207, 2009.

WIENGARTEN, F. *et al.* Risk, risk management practices, and the success of supply chain integration. **International Journal of Production Economics**, v. 171, p. 361–370, 2016.

WU, T.; BLACKHURST, J.; CHIDAMBARAM, V. A model for inbound supply risk analysis. **Computers in Industry**, v. 57, n. 4, p. 350–365, maio 2006.

YOUNGGREN, J. N.; HARRIS, E.; MARTIN, J. N. Risk of malpractice in psychology. In: **Encyclopedia of Mental Health**. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 51–54.

ZAFEIROPOULOS, I.; METAXIOTIS, K.; ASKOUNIS, D. Dynamic risk management system for the modeling, optimal adaptation and implementation of an ERP system. **Information Management & Computer Security**, v. 13, n. 3, p. 212–234, jul. 2005.

ZENG, A. Z.; BERGER, P. D.; GERSTENFELD, A. Managing the supply-side risks in supply chains: taxonomies, processes, and examples of decision-making modeling. In: **Applications of Supply Chain Management and E-Commerce Research**. Berlim: Springer, 2005. p. 141–160.

ZIJM, H. *et al.* **Logistics and supply chain innovation: bridging the gap between theory and practice**. Cham: Springer International Publishing, 2016.

ZSIDISIN, G. A.; MELNYK, S. A.; RAGATZ, G. L. An institutional theory perspective of business continuity planning for purchasing and supply management. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 16, p. 3401–3420, 2005a.

ZSIDISIN, G. A.; RITCHIE, B. **Supply chain risk: a handbook of assessment, management, and performance**. 1^a ed. Boston-MA, Springer, 2008.

_____. supply chain risk management: developments, issues and challenges. In: **Supply Chain Risk**. Boston, MA: Springer, 2009. p. 1–12.

ZSIDISIN, G.; RAGATZ, G.; MELNYK, S. The dark side of supply chain management. **Supply Chain Management Review**, v. 9, n. 2, p. 46–52, 2005b.

APÊNDICE A – Algoritmo utilizado para a composição probabilística

```

#ALGORITMO DA COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIA
#ALEATORIZAÇÃO DOS DADOS A PARTIR DA DISTRIBUIÇÃO BETA

#IMPORTANDO A BASE DE DADOS (AVALIAÇÕES) DO DIRETÓRIO DO R
Dados <- as.matrix(read.table("dadosEibeta.txt"))
#EM FUNÇÃO DA BASE A SER USADA, ALTERA-SE O ÍNDICE 'dadosEibeta.txt'
#CRIANDO AS VARIÁVEIS DE AUXÍLIO COM TAMANHO IGUAL A MATRIZ DE
#AVALIAÇÕES
Produtorio <- Dados
Alpha <- Dados
Beta <- Dados
M <- Dados
V <- Dados
#CÁLCULO OS PARÂMETROS ALPHA E BETA A PARTIR DA MÉDIA E VARIÂNCIA DOS
#DADOS
for (j in 1:ncol(Dados))
{
  for (i in 1:nrow (Dados))
  {
    M[i,j] <- mean(Dados[,j][-i])
    V[i,j] <- var (Dados[,j][-i])
    Alpha[i,j] <- (((M[i,j]^2)*(1-M[i,j]))/V[i,j])-M[i,j]
    Beta[i,j] <-((M[i,j]*((1-M[i,j])^2))/V[i,j])-(1-M[i,j]))
  }
}
#CÁLCULO DAS PROBABILIDADES DE MAXIMIZAR AS PREFERÊNCIAS
for (j in 1:ncol(Dados))
{
  for (i in 1:nrow (Dados))
  {
    Produtorio [i, j] <- (integrate(Vectorize(function(x)
    {
      prod(pbeta(x,Alpha[,j][-i],Beta[,j][-
i]))*dbeta(x,Alpha[,j][[i]],Beta[,j][[i]])
    }),0,1))$value
  }
}
#SALVA OS VALORES DAS PROBABILIDADES DE PREFERÊNCIA OBTIDAS
write.table(Produtorio, file = "Prob_Pref_dadosEibeta.txt", row.names =
FALSE, col.names = FALSE, sep = "\t", dec = ",")
#EM FUNÇÃO DA BASE A SER USADA, ALTERA-SE O ÍNDICE
#'Prob_Pref_dadosEibeta.txt'
#CALCULA O RANKING DAS PREFERÊNCIAS COM BASE NA VISÃO
#PROGRESSISTA/PESSIMISTA
Rank <- Dados[1,]
for (i in 1:nrow (Dados))
{
  Rank[i] <- prod(Produtorio[i,])
}
#SALVA O RANKING OBTIDO DAS PREFERÊNCIAS
write.table(Rank, file = "Rank_dadosEibeta.txt", row.names = FALSE,
col.names = FALSE, sep = "\t", dec = ",")
#EM FUNÇÃO DA BASE A SER USADA, ALTERA-SE O ÍNDICE 'Rank dadosEibeta'

```

Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Sant'Anna et al. (2015a, 2015b).

APÊNDICE B – Algoritmo utilizado para a agregação dos rankings

```

data <- as.matrix(read.table("dadospostos.txt", dec = ","))
k = 6;
N = 16;

#CONSTRUINDO UMA TABELA DE CONTINGÊNCIA DAS CONTAGENS EM CADA COMBINAÇÃO
#DE NÍVEIS DE FATOR
tE2 <- as.matrix(table(data[1,]))
tE5 <- as.matrix(table(data[2,]))
tE8 <- as.matrix(table(data[3,]))
tE14 <- as.matrix(table(data[4,]))
tE17 <- as.matrix(table(data[5,]))
tE23 <- as.matrix(table(data[6,]))

#ELIMINANDO DA TABELA OS FATORES QUE NÃO TEM EMPATES (CONTAGENS IGUAIS A
#1) E CRIANDO VARIÁVEIS DO TIPO "INTEGER"
#ALÉM DISSO, RECONFIGURANDO OS DADOS PARA A FORMA MATRICIAL "MATRIX"
tE2 <- as.matrix(as.numeric(tE2[tE2>1,]))
tE5 <- as.matrix(as.numeric(tE5[tE5>1,]))
tE8 <- as.matrix(as.numeric(tE8[tE8>1,]))
tE14 <- as.matrix(as.numeric(tE14[tE14>1,]))
tE17 <- as.matrix(as.numeric(tE17[tE17>1,]))
tE23 <- as.matrix(as.numeric(tE23[tE23>1,]))

#CALCULANDO OS TERMOS DE CORREÇÃO (Tj'S)
TE2 <- tE2
for (i in 1:length(tE2)){
  TE2[i,] <- ((tE2[i,]^3)-tE2[i,])
}
TE2 <- sum(TE2)

TE5 <- tE5
for (i in 1:length(tE5)){
  TE5[i,] <- ((tE5[i,]^3)-tE5[i,])
}
TE5 <- sum(TE5)

TE8 <- tE8
for (i in 1:length(tE8)){
  TE8[i,] <- ((tE8[i,]^3)-tE8[i,])
}
TE8 <- sum(TE8)

TE14 <- tE14
for (i in 1:length(tE14)){
  TE14[i,] <- ((tE14[i,]^3)-tE14[i,])
}
TE14 <- sum(TE14)

TE17 <- tE17
for (i in 1:length(tE17)){
  TE17[i,] <- ((tE17[i,]^3)-tE17[i,])
}
TE17 <- sum(TE17)

TE23 <- tE23
for (i in 1:length(tE23)){
  TE23[i,] <- ((tE23[i,]^3)-tE23[i,])
}

```

```

}
TE23 <- sum(TE23)

#SOMATÓRIO DOS TERMOS DE CORREÇÃO
ETi <- sum (TE2, TE5, TE8, TE14, TE17, TE23)

#CALCULANDO A SOMA DOS POSTOS DE CADA CONJUNTO DE RISCOS
ERi <- colSums(data)
ERi <- as.matrix(ERi)

#SOMATÓRIO AO QUADRADO DOS POSTOS DE CADA CONJUNTO DE RISCOS
EquadERi <- sum (ERi[,]^2)

#CALCULANDO A ESTATÍSTICA FINAL DA CORRELAÇÃO DE KENDALL
W <- (12*EquadERi-3*(k^2)*N*((N+1)^2))/((k^2)*N*((N^2)-1)-(k*ETi))
X2 <- k*(N-1)*W

#GRAUS DE LIBERDADE = N-1 -> GL = 15
#Com ALFA = 0.05, PELA TABELA C(Livro de Sigel (2006)) TEM-SE O VALOR
#TABELADO DE Xi = 22,31

Xi <- 22.31
if(X2 > Xi){
  cat("Rejeita H0. Há um bom consenso entre os membros!", "\n")
  Ranking <- as.matrix(ERi[order(ERi, decreasing = FALSE),])
} else {
  cat(" NÃO Rejeita H0", "\n")
}

```

Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE C – Algoritmo para estimação dos parâmetros α e β na análise de sensibilidade

```

#CÁLCULO OS PARÂMETROS ALPHA E BETA PARA O MÉTODO MME

#IMPORTANDO A BASE DE DADOS (AVALIAÇÕES) DO DIRETÓRIO DO R
Dados <- as.matrix(read.table("dadosEibeta.txt"))
#EM FUNÇÃO DA BASE A SER USADA, ALTERA-SE O ÍNDICE 'Ei'

#CRIANDO AS VARIÁVEIS DE AUXÍLIO COM TAMANHO IGUAL A MATRIZ DE AVALIAÇÕES
Alfamme <- Dados
Betamme <- Dados

for (j in 1:ncol(Dados))
{
  for (i in 1:nrow (Dados))
  {
    X <- mme(as.numeric(Dados[,j][-i]))
    X <- as.matrix(X)
    Alfamme[i,j] <- X[1,]
    Betamme[i,j] <- X[2,]
  }
}
#EM FUNÇÃO DA BASE A SER USADA, ALTERA-SE O ÍNDICE 'Ei'
AlfammeEi <- Alfamme
BetammeEi <- Betamme

#CRIANDO A FUNÇÃO PARA EXECUTAR A ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS  $\alpha$  e  $\beta$ 
#MÉTODO: Method of Moments Estimators (mme)
mme <- function(x, lower = 0.01, upper = 100)
{
  n <- length(x)
  m <- mean(x)
  term <- ((m * (1 - m))/(((n - 1)/n) * var(x))) - 1
  shape1 <- m * term
  shape2 <- (1 - m) * term
  return(c(shape1, shape2))
}
#-----
#CÁLCULO OS PARÂMETROS ALPHA E BETA PARA O MÉTODO MMUE

#IMPORTANDO A BASE DE DADOS (AVALIAÇÕES) DO DIRETÓRIO DO R
Dados <- as.matrix(read.table("dadosEibeta.txt"))
#EM FUNÇÃO DA BASE A SER USADA, ALTERA-SE O ÍNDICE 'Ei'

#CRIANDO AS VARIÁVEIS DE AUXÍLIO COM TAMANHO IGUAL A MATRIZ DE AVALIAÇÕES
Alfammue <- Dados
Betammue <- Dados

for (j in 1:ncol(Dados))
{
  for (i in 1:nrow (Dados))
  {
    Y <- mmue(as.numeric(Dados[,j][-i]))
    Y <- as.matrix(Y)
    Alfammue[i,j] <- Y[1,]
    Betammue[i,j] <- Y[2,]
  }
}

```

```
    }  
  }  
  #EM FUNÇÃO DA BASE A SER USADA, ALTERA-SE O ÍNDICE 'Ei'  
  AlfammueEi <- Alfammue  
  BetammueEi <- Betammue  
  
  #CRIANDO A FUNÇÃO PARA EXECUTAR A ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS  
  #MÉTODO UTILIZADO: Method of Moments Estimators Based on the Unbiased  
  #Estimator of Variance (mmue)  
  mmue <- function(x, lower = 0.01, upper = 100)  
  {  
    m <- mean(x)  
    term <- ((m * (1 - m))/var(x)) - 1  
    shape1 <- m * term  
    shape2 <- (1 - m) * term  
    return(c(shape1, shape2))  
  }  
}
```

Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE D – Probabilidades de preferência segundo a distribuição Beta

Empresa		E ₂			E ₆			E ₁₀		
Crítérios	S	O	D	S	O	D	S	O	D	
Modo de falha (risco)	R ₁	0,0445	0,0336	0,0652	0,0744	0,0706	0,0691	0,0745	0,0717	0,0575
	R ₂	0,0445	0,0336	0,0652	0,0744	0,0706	0,0691	0,0668	0,0545	0,0696
	R ₃	0,0763	0,0794	0,072	0,057	0,0605	0,0293	0,0668	0,0545	0,0696
	R ₄	0,0763	0,0605	0,072	0,057	0,0605	0,0293	0,0668	0,0563	0,0696
	R ₅	0,0763	0,0794	0,072	0,0744	0,0728	0,0691	0,0362	0,0717	0,0623
	R ₆	0,0766	0,0799	0,0475	0,0744	0,0728	0,0691	0,0668	0,0717	0,0696
	R ₇	0,0445	0,0629	0,0652	0,0736	0,0728	0,0528	0,0745	0,0706	0,0575
	R ₈	0,0445	0,0629	0,0652	0,0596	0,0547	0,0722	0,0745	0,0717	0,0575
	R ₉	0,0445	0,0336	0,0652	0,0736	0,0547	0,0722	0,0745	0,0706	0,0575
	R ₁₀	0,0766	0,0629	0,0475	0,0356	0,0313	0,0607	0,0745	0,0545	0,0575
	R ₁₁	0,0766	0,0794	0,0656	0,057	0,0605	0,0722	0,0745	0,0706	0,0575
	R ₁₂	0,0763	0,0629	0,072	0,0596	0,0728	0,0607	0,0362	0,0706	0,0623
	R ₁₃	0,0766	0,0629	0,0475	0,0356	0,0313	0,0607	0,0362	0,0563	0,0623
	R ₁₄	0,0766	0,0799	0,0475	0,0596	0,0706	0,0722	0,0668	0,0545	0,0696
	R ₁₅	0,0445	0,0629	0,0652	0,0596	0,0728	0,0722	0,0745	0,0706	0,0575
	R ₁₆	0,0445	0,0629	0,0652	0,0744	0,0706	0,0691	0,0362	0,0296	0,0623

Fonte: O Autor (2018).

Empresa		E ₁₄			E ₁₈			E ₂₂		
Crítérios	S	O	D	S	O	D	S	O	D	
Modo de falha (risco)	R ₁	0,0708	0,0745	0,0659	0,0761	0,0479	0,0671	0,084	0,0665	0,0628
	R ₂	0,0701	0,0689	0,0655	0,072	0,0651	0,0513	0,084	0,0665	0,0628
	R ₃	0,0708	0,0745	0,0659	0,072	0,0651	0,0513	0,0714	0,0638	0,0706
	R ₄	0,0708	0,0745	0,0659	0,0761	0,0479	0,0671	0,0714	0,0638	0,0706
	R ₅	0,0708	0,0745	0,0655	0,0761	0,0664	0,0671	0,084	0,0665	0,0628
	R ₆	0,0708	0,0745	0,0655	0,0761	0,0664	0,0513	0,084	0,0665	0,0628
	R ₇	0,0542	0,0606	0,0655	0,0761	0,0651	0,0671	0,0429	0,0638	0,0628
	R ₈	0,0701	0,0606	0,0153	0,0419	0,0664	0,0654	0,071	0,049	0,0425
	R ₉	0,0701	0,0345	0,0659	0,0419	0,0664	0,0654	0,084	0,0719	0,0425
	R ₁₀	0,0542	0,0606	0,0655	0,0419	0,0664	0,0654	0,0429	0,0719	0,0637
	R ₁₁	0,0542	0,0606	0,0655	0,0761	0,0651	0,0671	0,0376	0,0638	0,0637
	R ₁₂	0,0701	0,0689	0,0655	0,072	0,0651	0,0513	0,0429	0,0638	0,0706
	R ₁₃	0,0276	0,0345	0,0659	0,0761	0,0664	0,0671	0,0714	0,0254	0,0637
	R ₁₄	0,0542	0,0606	0,0655	0,0419	0,0664	0,0654	0,0429	0,0665	0,0637
	R ₁₅	0,0708	0,0745	0,0655	0,0419	0,0664	0,0654	0,0429	0,0665	0,0637
	R ₁₆	0,0506	0,0437	0,0659	0,0419	0,0479	0,0654	0,0429	0,0638	0,0706

Fonte: O Autor (2018).

**APÊNDICE E – Probabilidades conjuntas de acordo com os métodos MME
e MMUE**

Probabilidades conjuntas dos riscos de cada empresa de acordo com o método MME						
Risco	PPe(E₂)	PPe(E₆)	PPe(E₁₀)	PPe(E₁₄)	PPe(E₁₈)	PPe(E₂₂)
R ₁	1,043e-04	3,531e-04	3,065e-04	3,457e-04	2,413e-04	3,424e-04
R ₂	1,043e-04	3,531e-04	2,511e-04	3,191e-04	2,403e-04	3,424e-04
R ₃	4,082e-04	1,070e-04	2,511e-04	3,457e-04	2,403e-04	3,205e-04
R ₄	3,187e-04	1,070e-04	2,656e-04	3,457e-04	2,413e-04	3,205e-04
R ₅	4,082e-04	3,667e-04	1,638e-04	3,414e-04	3,379e-04	3,424e-04
R ₆	2,850e-04	3,667e-04	3,318e-04	3,414e-04	2,571e-04	3,424e-04
R ₇	1,897e-04	2,816e-04	2,999e-04	2,128e-04	3,292e-04	1,742e-04
R ₈	1,897e-04	2,325e-04	3,065e-04	6,382e-05	1,838e-04	1,492e-04
R ₉	1,043e-04	2,887e-04	2,999e-04	1,619e-04	1,838e-04	2,527e-04
R ₁₀	2,354e-04	7,101e-05	2,320e-04	2,128e-04	1,838e-04	1,992e-04
R ₁₁	3,824e-04	2,585e-04	2,999e-04	2,128e-04	3,292e-04	1,662e-04
R ₁₂	3,435e-04	2,655e-04	1,603e-04	3,191e-04	2,403e-04	1,964e-04
R ₁₃	2,354e-04	7,101e-05	1,311e-04	6,386e-05	3,379e-04	1,178e-04
R ₁₄	2,850e-04	2,982e-04	2,511e-04	2,128e-04	1,838e-04	1,835e-04
R ₁₅	1,897e-04	3,097e-04	2,999e-04	3,414e-04	1,838e-04	1,835e-04
R ₁₆	1,897e-04	3,531e-04	6,833e-05	1,553e-04	1,313e-04	1,964e-04

Obs.: A notação 1,11e-01 significa 1,11*10⁻⁰¹

Fonte: O Autor (2018).

Probabilidades conjuntas dos riscos de cada empresa de acordo com o método MMUE

Risco	PPe(E₂)	PPe(E₆)	PPe(E₁₀)	PPe(E₁₄)	PPe(E₁₈)	PPe(E₂₂)
R ₁	9,760e-05	3,632e-04	3,071e-04	3,472e-04	2,444e-04	3,510e-04
R ₂	9,760e-05	3,632e-04	2,532e-04	3,161e-04	2,402e-04	3,510e-04
R ₃	4,369e-04	1,010e-04	2,532e-04	3,472e-04	2,402e-04	3,213e-04
R ₄	3,325e-04	1,010e-04	2,616e-04	3,472e-04	2,444e-04	3,213e-04
R ₅	4,369e-04	3,748e-04	1,617e-04	3,450e-04	3,390e-04	3,510e-04
R ₆	2,907e-04	3,748e-04	3,330e-04	3,450e-04	2,589e-04	3,510e-04
R ₇	1,825e-04	2,833e-04	3,027e-04	2,149e-04	3,322e-04	1,716e-04
R ₈	1,825e-04	2,351e-04	3,071e-04	6,506e-05	1,819e-04	1,478e-04
R ₉	9,760e-05	2,906e-04	3,027e-04	1,594e-04	1,819e-04	2,570e-04
R ₁₀	2,290e-04	6,768e-05	2,335e-04	2,149e-04	1,819e-04	1,965e-04
R ₁₁	3,997e-04	2,488e-04	3,027e-04	2,149e-04	3,322e-04	1,530e-04
R ₁₂	3,460e-04	2,636e-04	1,594e-04	3,161e-04	2,402e-04	1,929e-04
R ₁₃	2,290e-04	6,768e-05	1,270e-04	6,272e-05	3,390e-04	1,157e-04
R ₁₄	2,907e-04	3,035e-04	2,532e-04	2,149e-04	1,819e-04	1,817e-04
R ₁₅	1,825e-04	3,131e-04	3,027e-04	3,450e-04	1,819e-04	1,817e-04
R ₁₆	1,825e-04	3,632e-04	6,686e-05	1,458e-04	1,311e-04	1,929e-04

Obs.: A notação 1,11e-01 significa $1,11 \cdot 10^{-01}$

Fonte: O Autor (2018).

ANEXO A – Base de dados da pesquisa de Palmeira (2016)

Empresa	Análise dos modos de falha (risco) sob o critério severidade															
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅	R ₁₆
E ₁	4	1	1	1	3	3	5	5	5	5	4	4	3	5	4	4
E ₂	5	5	4	4	4	2	5	5	5	2	2	4	2	2	5	5
E ₃	3	5	5	5	3	3	5	1	1	3	3	5	3	5	4	3
E ₄	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
E ₅	3	5	5	5	4	4	4	4	3	2	5	5	5	5	5	3
E ₆	3	3	1	1	3	3	2	4	2	5	1	4	5	4	4	3
E ₇	5	5	2	2	5	5	3	4	3	5	4	5	3	4	4	4
E ₈	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	5	5	5	3	5
E ₉	2	2	2	2	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E ₁₀	3	4	4	4	5	4	3	3	3	3	3	5	5	4	3	5
E ₁₁	5	4	3	3	4	4	4	3	2	3	3	2	2	3	3	2
E ₁₂	3	5	5	5	2	2	2	3	3	4	5	5	5	5	3	5
E ₁₃	3	3	2	2	2	2	4	2	2	3	2	5	5	5	5	5
E ₁₄	3	2	3	3	3	3	4	2	2	4	4	2	5	4	3	1
E ₁₅	5	5	5	3	5	5	4	4	3	5	3	3	3	3	4	5
E ₁₆	3	5	4	4	4	4	4	5	5	5	3	5	4	3	3	5
E ₁₇	3	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	3	5	5	5
E ₁₈	4	3	3	4	4	4	4	5	5	5	4	3	4	5	5	5
E ₁₉	5	5	5	5	5	4	5	3	3	5	4	3	4	3	5	5
E ₂₀	5	5	4	5	4	5	3	3	3	4	3	4	4	4	5	4
E ₂₁	3	5	4	4	5	5	5	5	4	5	4	5	1	2	2	2
E ₂₂	3	3	4	4	3	3	5	2	3	5	1	5	4	5	5	5
E ₂₃	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	4	2	2	5
E ₂₄	5	5	5	4	3	4	5	4	4	5	5	3	4	2	5	5
E ₂₅	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5	4
E ₂₆	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5

Obs.: 1 = Muito Baixo; 2 = Baixo; 3 = Médio; 4 = Alto; 5 = Muito Alto

Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Palmeira (2016).

Empresa	Análise dos modos de falha (risco) sob o critério ocorrência															
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅	R ₁₆
E ₁	4	1	2	2	3	3	3	2	2	4	3	1	5	1	1	3
E ₂	5	5	3	4	3	2	1	1	5	1	3	1	1	2	1	1
E ₃	3	1	1	1	1	1	3	1	4	2	1	1	3	4	4	3
E ₄	3	3	3	3	3	3	2	4	1	2	2	1	2	2	2	5
E ₅	2	4	4	4	1	1	4	2	4	1	1	1	5	1	5	3
E ₆	3	3	1	1	2	2	2	4	4	5	1	2	5	3	2	3
E ₇	5	4	1	1	5	5	3	3	2	1	2	1	2	2	3	1
E ₈	3	1	4	4	2	2	2	1	3	2	2	2	3	2	2	2
E ₉	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	5	1	1	5
E ₁₀	2	4	4	1	2	2	3	2	3	4	3	3	1	4	3	5
E ₁₁	4	5	1	3	3	4	2	2	3	2	2	2	2	3	3	3
E ₁₂	3	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	5	1	2	1
E ₁₃	3	3	2	2	2	2	3	4	5	5	2	5	5	5	5	5
E ₁₄	3	2	3	3	3	3	4	4	5	4	4	2	5	4	3	1
E ₁₅	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3	3
E ₁₆	3	4	1	1	1	1	1	5	5	5	1	5	1	3	4	5
E ₁₇	3	1	1	1	2	2	2	5	2	2	2	1	2	5	5	1
E ₁₈	3	2	2	3	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	3
E ₁₉	4	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
E ₂₀	4	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2	1	2	2
E ₂₁	2	1	1	1	2	2	4	5	3	1	1	1	1	5	5	5
E ₂₂	3	3	1	1	3	3	1	4	2	2	1	1	5	3	3	1
E ₂₃	3	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	5	5	2	2	1
E ₂₄	3	2	2	3	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2
E ₂₅	5	3	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	3
E ₂₆	4	3	4	4	3	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5

Obs.: 1 = Muito Baixo; 2 = Baixo; 3 = Médio; 4 = Alto; 5 = Muito Alto

Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Palmeira (2016).

Empresa	Análise dos modos de falha (risco) sob o critério dificuldade de detecção															
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅	R ₁₆
E ₁	2	5	5	5	3	3	1	1	1	1	2	2	3	1	2	2
E ₂	1	1	2	2	2	4	1	1	1	4	3	2	4	4	1	1
E ₃	3	1	1	1	3	3	1	5	2	3	3	1	3	1	2	3
E ₄	3	3	3	3	3	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
E ₅	3	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
E ₆	3	3	5	5	3	3	4	2	2	1	2	1	1	2	2	3
E ₇	1	1	3	3	1	1	2	2	2	1	3	1	3	1	2	1
E ₈	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	3	1
E ₉	4	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E ₁₀	3	2	2	2	1	2	3	3	3	3	3	1	1	2	3	1
E ₁₁	1	2	3	3	2	2	2	3	4	3	3	4	4	3	3	4
E ₁₂	3	1	1	1	4	4	4	3	3	1	1	1	1	1	2	1
E ₁₃	3	3	4	4	4	4	2	4	1	1	4	1	1	1	1	1
E ₁₄	1	2	1	1	2	2	2	4	1	2	2	2	1	2	2	1
E ₁₅	1	1	1	3	1	1	2	1	3	1	3	3	3	3	2	1
E ₁₆	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1
E ₁₇	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
E ₁₈	2	3	3	2	2	3	2	1	1	1	2	3	2	1	1	1
E ₁₉	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	3	2	3	1	1
E ₂₀	1	1	2	1	2	1	3	4	3	3	2	2	2	2	1	2
E ₂₁	3	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2
E ₂₂	3	3	2	2	3	3	3	4	4	1	1	2	1	1	1	2
E ₂₃	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E ₂₄	1	1	1	2	3	2	1	2	2	1	1	3	2	4	1	1
E ₂₅	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1
E ₂₆	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1

Obs.: 1 = Muito Baixo; 2 = Baixo; 3 = Médio; 4 = Alto; 5 = Muito Alto

Fonte: O Autor (2018).

Nota: Adaptação de Palmeira (2016).