



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

DOUTORADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

MARCUS VINICIUS CARVALHO FAGUNDES

MODELAGEM DA GESTÃO DE RISCOS DA
CADEIA DE SUPRIMENTOS NA INDÚSTRIA
DE PETRÓLEO E GÁS



SALVADOR
2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

MARCUS VINICIUS CARVALHO FAGUNDES

**MODELAGEM DA GESTÃO DE RISCOS DA CADEIA DE
SUPRIMENTOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS**

Salvador
2021

MARCUS VINICIUS CARVALHO FAGUNDES

**MODELAGEM DA GESTÃO DE RISCOS DA CADEIA DE
SUPRIMENTOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Gaudêncio M. Freires

Coorientador: Prof. Dr. Silvio Alexandre B. Vieira de Melo

Salvador
2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Fagundes, Marcus Vinicius Carvalho
Modelagem da Gestão de Riscos da Cadeia de
Suprimentos na Indústria de Petróleo e Gás / Marcus
Vinicius Carvalho Fagundes. -- Salvador, 2021.
244 f. : il

Orientador: Francisco Gaudêncio Mendonça Freires.
Coorientador: Silvío Alexandre B Vieira de Melo.
Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Industrial) -- Universidade Federal da
Bahia, Escola Politécnica, 2021.

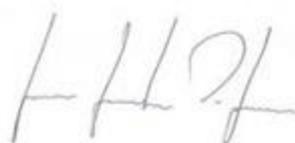
1. Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis.
2. Inteligência Artificial. 3. Riscos de Seleção de
Fornecedor. 4. Avaliação de Riscos da Cadeia de
Suprimentos. 5. Sistema de Gestão de Riscos da Cadeia
de Suprimentos. I. Freires, Francisco Gaudêncio
Mendonça. II. Vieira de Melo, Silvío Alexandre B. III.
Título.

MODELAGEM DA GESTÃO DE RISCOS DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS

MARCUS VINICIUS CARVALHO FAGUNDES

Tese submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Industrial.

Examinada por:



Prof. Dr. Francisco Gaudêncio Mendonça Freires
Doutor em Engenharia e Gestão Industrial, pela Universidade do Porto, Portugal, 2007

Silvio A.B.V. Melo

Digitally signed by Silvio A.B.V. Melo
DN: cn=Silvio A.B.V. Melo, o=Universidade Federal da Bahia, ou, email=sabvm@ufba.br, c=BR
Date: 2022.04.03 15:41:32 -03'00'

Prof. Dr. Silvio Alexandre Beisl Vieira de Melo
Doutor em Engenharia Química, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 1997



Prof. Dr. Bruno dos Santos Silvestre
Doutor em Engenharia de Produção, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, 2006



Prof. Dr. Fernando Buarque de Lima Neto
Doutor em *Artificial Intelligence*, pela University of London, Inglaterra, 2002



Prof. Dr. Helder Gomes Costa
Doutor em Engenharia Mecânica, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, 1994



Prof. Dr. Robson da Silva Magalhães
Doutor em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2009

Salvador, BA - Brasil

Novembro/2021

A

Regina [*in memoriam*], mãe protetora e amada, por ter me ensinado a aprender.

Vicente, filho notável e amado, por ter me levado a aprender a ensinar.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela serenidade, força e resiliência concedidas ao longo desta caminhada.

Aos meus pais Fagundes e Regina [*in memoriam*], por todo o bem que me proporcionaram e que me permitiu alcançar esta conquista. Aos meus irmãos, pelo estímulo e desejos de sucesso.

À minha esposa Rita, pelo incentivo, a compreensão e o amor pleno. A minha sogra Ivanilda, pelo convívio e habitual zelo com a família. Ao meu filho Vicente Emanuel, pelo espontâneo amor e carinho.

Ao Prof. Francisco Gaudêncio M. Freires, orientador parceiro, firme nas horas mais difíceis, motivador e, acima de tudo, um mestre. Ao Prof. Silvio A. B. Vieira de Melo, coorientador sempre atencioso, receptivo e generoso.

Ao Prof. Eduardo Teles, pelo impulso e contribuições. Ao Prof. Robson Magalhães, pelo gentil compartilhamento de conhecimentos e experiências.

Ao Prof. Bernd Hellgrath e aos colegas pesquisadores da *Chair for Information Systems and Supply Chain Management* e do *European Research Center for Information Systems (ERCIS)*, pelo acolhimento e intercâmbio de conhecimentos e vivências durante o estágio de doutorado sanduíche na *Westfälische Wilhelms-Universität (WWU)*. Ao Prof. Jürgen Bullermann e à Profa. Julia Bullermann pela hospitalidade e apoio durante a minha estadia de estudo e pesquisa em Münster, Alemanha.

Ao colega Prof. João Campos por me apresentar o Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial (PEI) da UFBA. Ao PEI, pelo apoio, infraestrutura, qualidade e atenção dos seus professores, pesquisadores e funcionários. Aos colegas do Laboratório de Energia e Gás (LEN), da UFBA, pela partilha de conhecimentos e ideias.

Ao companheiro Prof. Átila Keler, orientado destacado, que se tornou um importante parceiro de pesquisas e projetos.

À Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Petróleo e Gás (ABPIP), em especial ao Sr. Anabal Santos Jr, pela relevante intermediação junto às empresas pesquisadas.

Finalmente, à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), sobretudo, aos colegas professores da Área de Administração, do Departamento de Ciências Sociais Aplicadas, pelo suporte e investimento na minha qualificação profissional.

Muito obrigado a todos por possibilitarem esta desafiadora e enriquecedora experiência pessoal e profissional!

*So the problem is not so much to see what nobody has yet seen, as to think
what nobody has yet thought concerning that which everybody sees
(Arthur Schopenhauer).*

FAGUNDES, Marcus Vinicius Carvalho. **Modelagem da gestão de riscos da cadeia de suprimentos na indústria de petróleo e gás**. Orientador: Francisco Gaudêncio M. Freires. 2021. 244 f. il. Tese [Doutorado em Engenharia Industrial] - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

RESUMO

As cadeias de suprimentos operam como motores silenciosos que impulsionam a globalização econômica. Há um amplo consenso na literatura e na prática profissional de que as cadeias de suprimentos estão cada vez mais complexas e vulneráveis a riscos que provocam distúrbios, interrupções e reações críticas da sociedade. Nesta tese, objetiva-se analisar as oportunidades e limitações de uma modelagem baseada em *Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis* e Inteligência Artificial (MCDM/A-IA) para a Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos (GRCS), desenvolvida através de seleção sistemática, validação e teste de sistema do método híbrido *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (Fuzzy AHP) aplicado na indústria de petróleo e gás natural. Especificamente, busca-se: a. realizar o estado da arte pela revisão sistemática da rede de literatura sobre a Modelagem da GRCS (MGRCS); b. propor e validar um novo sistema computacional para seleção de fornecedor considerando riscos, baseado no método Fuzzy AHP [algoritmo *Fuzzy Extended AHP* (FEAHP)]; e, c. propor e testar sistemicamente uma estrutura holística para avaliação de riscos típicos e sustentáveis [riscos multidimensionais] da cadeia de suprimentos com suporte computacional do método Fuzzy AHP [algoritmo FEAHP]. Para tanto, é realizada uma pesquisa aplicada, com fins exploratório, descritivo e preditivo, de abordagem combinada [qualitativa e quantitativa], utilizando-se da pesquisa bibliográfica, desenvolvimento teórico-conceitual, modelagem e estudo de casos. A prospecção do estado da arte na MGRCS, realizada com o uso de métodos e ferramentas bibliométricas, possibilita estabelecer uma compreensão sistêmica do fluxo de pesquisa no campo ao longo do tempo, fornecendo as direções para investigações futuras. A análise e interpretação das lacunas e tendências de pesquisa, aplicadas ao campo, permitem a identificação, seleção e implementação sistemática da modelagem conceitual, matemática e computacional proposta. Por sua vez, a proposição e validação de um novo sistema computacional para seleção de fornecedor baseado no método FEAHP constitui uma prova de conceito para verificar a viabilidade de implementação da MGRCS. A partir do estudo de caso de uma empresa de petróleo e gás natural com ativos *onshore*, é constatado que a modelagem computacional FEAHP é capaz de automatizar o processo de seleção de fornecedor de forma racional, flexível e ágil, atendendo a todos os requisitos de desempenho necessários, promovendo, assim, a escolha dos melhores fornecedores em um ambiente de risco e incerteza. Após a validação do *software* desenvolvido, é realizada a proposição e teste de sistema de um *framework* holístico para avaliação de riscos multidimensionais da cadeia de suprimentos com suporte computacional do método FEAHP. Pelo estudo de casos múltiplos de dez empresas de petróleo e gás natural com atuação *onshore*, constata-se que os resultados da identificação e avaliação de riscos subsidiam a criação de estratégias de mitigação e controle de riscos [ação preditiva *versus* ação proativa], fomentando o desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos (SGRCS). Finalmente, os resultados do teste de sistema da ferramenta FEAHP mostram que todos os seus elementos combinam-se corretamente e apresentam um desempenho global efetivamente aplicável, promovendo de forma íntegra, flexível, sem falhas e/ou erros a melhoria da Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos (ARCS). Conclui-se que as diversas oportunidades e/ou potencialidades de uso de uma MGRCS baseada em MCDM/A-IA superam as principais limitações e/ou desafios. Não obstante as restrições, admite-se que ela contribua com o fértil campo de pesquisa e prática profissional da GRCS, MGRCS e ARCS, promovendo a melhoria da concepção, compreensão, reflexão e do exercício da Gestão de Redes de Suprimentos e Operações.

Palavras-chave: *Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis*; Inteligência Artificial; Riscos de Seleção de Fornecedor; Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos; Sistema de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos.

FAGUNDES, Marcus Vinicius Carvalho. **Supply chain risk management modeling in the oil and gas industry**. Thesis advisor: Francisco Gaudêncio M. Freires. 2021. 244 s. ill. Thesis [Doctorate in Industrial Engineering] - Polytechnic School, Federal University of Bahia, Salvador, 2021.

ABSTRACT

Supply chains operate as silent engines that drive economic globalization. There is a broad consensus in the literature and in professional practice that supply chains are increasingly complex and vulnerable to risks that cause disturbances, disruptions, and critical reactions from society. This thesis is aimed to analyze the opportunities and limitations of a modeling based on Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis and Artificial Intelligence (MCDM/A-AI) for Supply Chain Risk Management (SCRM), developed through systematic selection, validation, and system testing of the hybrid Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) method applied in the oil and natural gas industry. Specifically, it is sought to: a. carry out the state of the art by a systematic review of the literature network on the SCRM Modeling (SCRMM); b. propose and validate a new computational system for supplier selection considering risks, based on the Fuzzy AHP method [Fuzzy Extended AHP algorithm (FEAHP)]; and, c. propose and systematically test a holistic framework for assessment of typical and sustainable risks [multidimensional risks] of the supply chain with computational support of the Fuzzy AHP method [FEAHP algorithm]. To do so, an applied research is conducted, with exploratory, descriptive, and predictive purposes, of combined approach [qualitative and quantitative], using literature research, theoretical and conceptual development, modeling, and case studies. The prospection of the state of the art in SCRMM, carried out with the use of bibliometric methods and tools, makes it possible to establish a systemic understanding of the flow of research in the field over time, providing future research directions. The analysis and interpretation of research gaps and trends, applied in the field, allow the identification, selection, and systematic implementation of the proposed conceptual, mathematical, and computational modeling. In turn, the proposition and validation of a new computational system for supplier selection based on the FEAHP method constitutes a proof of concept to verify the feasibility of implementing the SCRMM. Based on the case study of an oil and natural gas company with onshore assets, it is found that the FEAHP computational modeling is able to automate the supplier selection process in a rational, flexible and agile way, meeting all the necessary performance requirements, thus promoting the choice of the best suppliers in an environment of risk and uncertainty. After the validation of the developed software, the proposition and system test of a holistic framework for multidimensional risk assessment of the supply chain with computational support of the FEAHP method is performed. Based on a multiple case study of ten oil and natural gas companies with onshore operations, it is found that the results of risk identification and assessment subsidize the creation of risk mitigation and control strategies [predictive action versus proactive action], fostering the development of a Supply Chain Risk Management System (SCRMS). Finally, the results of the system test of the FEAHP tool show that all its elements combine correctly and present an overall performance effectively applicable, promoting in an integral, flexible, failure-free, and/or error-free way the improvement of the Supply Chain Risk Assessment (SCRA). It is concluded that the various opportunities and/or potentialities of using an MCDM/A-AI based SCRMM overtake the main limitations and/or challenges. Despite the restrictions, it is fair to assume that it contributes to the fertile field of research and professional practice of SCRM, SCRMM, and SCRA, promoting the improvement of the design, understanding, reflection, and professional practice of Supply Chain Network and Operations Management.

Keywords: *Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis*; Artificial Intelligence; Supplier Selection Risks; Supply Chain Risk Assessment; Supply Chain Risk Management System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organização da tese	34
Figura 2 - Classificações da pesquisa científica e os elementos da metodologia	35
Figura 3 - Abordagem combinada com triangulação de mét. e técnicas de coleta de dados ..	38
Figura 4 - Pesquisa bibliográfica e desenvolvimento teórico-conceitual	40
Figura 5 - Funil para escolha do modelo	42
Figura 6 - Modelagem conceitual	45
Figura 7 - Interseção entre M_1 e M_2	48
Figura 8 - Processo de modelagem computacional	50
Figura 9 - Modelo cascata de processo de <i>software</i> utilizado	51
Figura 10 - Diagrama UML do sistema Fuzzy AHP [<i>software</i> HAZE]	53
Figura 11 - Arquitetura do sistema Fuzzy AHP [<i>software</i> HAZE]	54
Figura 12 - Estudo de casos com triangulação de métodos e técnicas de coleta de dados	57
Figura 13 - Método da revisão	66
Figura 14 - Análise de cocitação e acoplamento bibliográfico	68
Figura 15 - Número de artigos sobre a MGRCS por ano	69
Figura 16 - Rede de cocitação: áreas generativas de pesquisa	76
Figura 17 - Rede de acoplamento bibliográfico: áreas evolutivas de pesquisa	82
Figura 18 - Quadro temporal da MGRCS	85
Figura 19 - Interseção entre M_1 e M_2	101
Figura 20 - Arquitetura do sistema computacional	103
Figura 21 - Hierarquia do problema de risco de seleção de fornecedor do caso estudado	106
Figura 22 - Pesos finais de prioridade dos fornecedores na interface do sistema	110
Figura 23 - Gráfico de análise de sensibilidade	112
Figura 24 - Processo de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos	117
Figura 25 - Equivalência entre riscos típicos e riscos relacionados à sustentabilidade	126
Figura 26 - Fluxograma da metodologia da pesquisa	134
Figura 27 - Estrutura típica da CSPG	140
Figura 28 - Sistema de produção de petróleo e gás natural típico das empresas estudadas [estação <i>Lambda</i>] e SGRCS	146
Figura 29 - Principais riscos da CSPG identificados pelas empresas pesquisadas	149
Figura 30 - Hierarquia do problema de ARCS da CSPG <i>onshore</i> do Brasil	150

Figura 31 - Função de pertinência fuzzy das variáveis linguísticas para ARCS	151
Figura 32 - Sistema FEAHP: <i>graus de risco finais</i> da CSPG <i>onshore</i> do Brasil.....	163
Figura 33 - Sistema FEAHP: <i>grau geral de risco</i> da CSPG <i>onshore</i> do Brasil.....	164
Figura 34 - Sensibilidade do IIR das alternativas [graus de risco] em relação aos critérios [tipos de risco] do objetivo geral [ARCS]	171

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Produções acadêmicas derivadas	33
Quadro 2 - Visão geral das revisões de literatura sobre a GRCS	62
Quadro 3 - Artigos sobre riscos de seleção de fornecedores.....	96
Quadro 4 - Variáveis linguísticas com valores fuzzy triangulares correspondentes	107
Quadro 5 - Sumário da classificação holística dos riscos da cadeia de suprimentos	123
Quadro 6 - Aplicações do método FAHP na ARCS segundo a classificação holística	130
Quadro 7 - Variáveis linguísticas com valores fuzzy triangulares correspondentes	135
Quadro 8 - Tipos de fornecedores e produtos e serviços ofertados	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - <i>Top 20</i> palavras-chave	71
Tabela 2 - <i>Top dez</i> artigos: medida de citação	72
Tabela 3 - Referências cocitadas	74
Tabela 4 - Classificação dos documentos acoplados	80
Tabela 5 - Avaliação fuzzy dos critérios em relação ao objetivo geral	107
Tabela 6 - Avaliação fuzzy dos subcritérios em relação ao critério C_1	108
Tabela 7 - Avaliação fuzzy das alternativas em relação ao subcritério S_1	108
Tabela 8 - Combinação dos pesos de prioridade: subcritérios do critério C_1	109
Tabela 9 - Combinação sumária de ponderações de prioridade: critérios do objetivo geral .	109
Tabela 10 - Avaliação fuzzy: critérios em relação ao objetivo geral - ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos	153
Tabela 11 - Grau de possibilidade de S_i sobre S_j : critérios em relação ao objetivo geral - ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos	153
Tabela 12 - Pesos finais: avaliações dos critérios em relação ao objetivo geral	154
Tabela 13 - Pesos finais: avaliações dos subcritérios em relação aos critérios	155
Tabela 14 - Pesos finais: avaliações das alternativas em relação aos subcritérios	156
Tabela 15 - Combinação sumária dos pesos finais: subcritérios do critério C_1 - ‘probabilidade de ocorrência’	158
Tabela 16 – Combinação sumária dos pesos finais: critérios do objetivo geral - ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos	159
Tabela 17 - <i>Graus de risco finais</i> resultantes da ARCS de petróleo e gás natural <i>onshore</i> do Brasil.....	159
Tabela 18 - Índice integral de risco (IIR): classificação de prioridade final dos critérios	160
Tabela 19 - Índice integral de risco (IIR): classificação de prioridade final dos subcritérios	161
Tabela 20 - Índice integral de risco (IIR): classificação de prioridade final das alternativas dos subcritérios.....	162
Tabela 21 - Índice integral de risco (IIR): <i>grau geral de risco</i> da CSPG <i>onshore</i> do Brasil	163
Tabela 22 - Síntese dos IIR dos riscos típicos e sustentáveis da CSPG <i>onshore</i> do Brasil de acordo com a estrutura holística de ARCS	166
Tabela 23 - <i>Grau geral de risco</i> da CSPG <i>onshore</i> do Brasil: alternativas [graus de risco] em relação aos critérios [tipos de risco] do objetivo geral [ARCS]	171

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPIP	Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Petróleo e Gás
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
ARCS	Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos
BBL	Barril de Petróleo/Óleo
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COVID-19	Coronavírus SARS-CoV-2
CSPG	Cadeia de Suprimentos de Petróleo e Gás Natural
CVaR	<i>Conditional Value at Risk</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
E&P	Exploração e Produção
ERCIS	<i>European Research Center for Information Systems</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FAHP	<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>
FEAHP	<i>Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process</i>
FMECA	<i>Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis</i>
FMI	Fundo Monetário Internacional
FTL	Força Total do <i>Link</i>
GRCS	Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos
IA	Inteligência Artificial
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
ISM	<i>Institute for Supply Management</i>
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
LEN	Laboratório de Energia e Gás
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i>
MCDA	<i>Multicriteria Decision Aiding/Analysis</i>
MCDM	<i>Multicriteria Decision-Making</i>
MCDM/A	<i>Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis</i>

MCDM/A-IA	<i>Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis</i> - Inteligência Artificial
MEC	Ministério da Educação
MGRCS	Modelagem da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos
MME	Ministério de Minas e Energia
NFT	Números Fuzzy Triangulares
PEI	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PLMO	Programação Linear Multiobjetivo
PM	Programação Matemática
PNLIM	Programação Não Linear Inteira Mista
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RB	Redes Bayesianas
REATE	Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural <i>Onshore</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RP	Redes de Petri
SCRM	<i>Supply Chain Risk Management</i>
SCRMM	<i>Supply Chain Risk Management Modeling</i>
SGRCS	Sistema de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UPGN	Unidade de Processamento de Gás Natural
USP	Universidade de São Paulo
VaR	<i>Value at Risk</i>
VIKOR	<i>Multicriteria Optimization and Compromise Solution</i>
VOS	<i>Visualization of Similarities</i>
WWU	<i>Westfälische Wilhelms-Universität</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

IIR	Índice integral de risco
X	Conjunto de objetos
U	Conjunto de objetivos
g_i	Valor da análise de extensão para cada objetivo
m	Valor de análise de extensão para cada objeto
l_{ij}	Valor inferior
m_{ij}	Valor médio
u_{ij}	Valor superior
$M_{g_i}^j$	Números fuzzy triangulares
S_i	Extensão sintética fuzzy em relação ao i th objeto
d	Ponto de maior interseção entre M_1 e M_2
W'	Peso do vetor para $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$
A_i	Refere-se a n elementos
W	Vetor de peso normalizado [número não fuzzy]
AS_{ij}	Medida de similaridade entre itens bibliográficos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	19
1.2	PROBLEMA DA PESQUISA	21
1.2.1	Objetivos da Pesquisa	22
1.2.1.1	<i>Objetivo geral</i>	22
1.2.1.1.1	Objetivos específicos.....	23
1.2.2	Delimitação do Objeto da Pesquisa	23
1.3	RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA	28
1.4	ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA.....	31
2	METODOLOGIA	35
2.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E DESENV. TEÓRICO-CONCEITUAL	39
2.2	MODELAGEM E SIMULAÇÃO	41
2.2.1	Modelagem Conceitual	41
2.2.2	Modelagem Matemática	46
2.2.3	Modelagem Computacional	49
2.3	ESTUDO DE CASOS	55
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO: COLETÂNEA DE ARTIGOS AUTORAIS 59	
3.1	ARTIGO 1 - ESTADO DA ARTE.....	59
3.1.1	Modelagem da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos: uma Revisão Sistemática da Rede de Literatura	59
3.1.1.1	<i>Introdução</i>	60
3.1.1.2	<i>Método da revisão</i>	65
3.1.1.2.1	Definição dos termos da pesquisa	65
3.1.1.2.2	Coleta dos dados	66
3.1.1.2.3	Refinamento dos dados	67
3.1.1.2.4	Análise dos dados	67
3.1.1.2.5	Interpretação dos resultados	68
3.1.1.3	<i>Análise sistemática da rede de literatura</i>	68
3.1.1.3.1	Desempenho do campo	68
3.1.1.3.2	Análise de rede	71
3.1.1.3.2.1	Análise de citação	71

3.1.1.3.2.2	Análise de cocitação	73
3.1.1.3.2.3	Acoplamento bibliográfico	78
3.1.1.4	<i>Discussão dos resultados e direções de pesquisa futura</i>	84
3.1.1.5	<i>Conclusões, recomendações e limitações</i>	89
3.2	ARTIGO 2 - PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DO SIST. COMPUTACIONAL..	92
3.2.1	Risco de Seleção de Fornecedor: um Novo Sistema de Tomada de Decisão Baseado em Computador com Fuzzy Extended AHP	92
3.2.1.1	<i>Introdução</i>	93
3.2.1.2	<i>Revisão da literatura</i>	95
3.2.1.3	<i>Metodologia</i>	99
3.2.1.4	<i>Aplicação do sistema computacional FEAHP em um estudo de caso de risco de seleção de fornecedor</i>	104
3.2.1.5	<i>Resultados e discussões</i>	110
3.2.1.6	<i>Conclusões, limitações e trabalhos futuros</i>	112
3.3	ARTIGO 3 - PROPOSIÇÃO E TESTE SISTÊMICO DA ESTRUTURA HOLÍSTICA COM SUPORTE COMPUTACIONAL	114
3.3.1	Uma Estrutura Holística para Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos com Suporte de um Sistema Computacional Fuzzy Extended AHP: o Caso dos Riscos Típicos e Sustentáveis da Indústria Brasileira de Petróleo e Gás Natural Onshore	114
3.3.1.1	<i>Introdução</i>	116
3.3.1.2	<i>Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos</i>	120
3.3.1.2.1	Avaliação de riscos típicos e relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos	122
3.3.1.2.2	Métodos para ARCS.....	126
3.3.1.2.2.1	Trabalhos relacionados: a ARCS e o método Fuzzy AHP	128
3.3.1.2.3	Notas sobre o estado da arte da ARCS.....	132
3.3.1.3	<i>Metodologia</i>	133
3.3.1.4	<i>Análise de dados: o caso da ind. brasileira de petróleo e gás natural onshore</i> ...	139
3.3.1.4.1	Características da CSPG <i>onshore</i> do Brasil	143
3.3.1.4.1.1	Estudo de casos múltiplos: as empresas da CSPG <i>onshore</i> do Brasil	144
3.3.1.4.2	Identificação e avaliação de riscos da CSPG <i>onshore</i> do Brasil.....	148
3.3.1.4.3	Priorização dos riscos e grau geral de risco da CSPG <i>onshore</i> do Brasil	160
3.3.1.5	<i>Discussão dos resultados</i>	164

3.3.1.6	<i>Conclusões, recomendações e limitações</i>	175
4	CONCLUSÕES	181
4.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA E RECOMENDAÇÕES	187
	REFERÊNCIAS	189
	APÊNDICES	218
	APÊNDICE A - Partes dos códigos de programação, em linguagem MATLAB®, dos três módulos da ferramenta computacional	219
	APÊNDICE B - Partes do form. da entrevista do estudo de casos múltiplos	222
	APÊNDICE C - Partes do quest. de comparação do estudo de casos múltiplos..	230
	APÊNDICE D - Class. holística dos riscos da cad. de sup.: definição e autores.	236
	APÊNDICE E - Estudo de casos múltiplos: caract. das empresas e decisores	244

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

As cadeias de suprimentos globais são consideradas como motores propulsores da economia mundial. Há um amplo consenso na literatura e na prática profissional de que as cadeias de suprimentos estão cada vez mais complexas e vulneráveis a riscos que provocam distúrbios, interrupções e reações críticas da sociedade. Nas últimas décadas, o aumento significativo da frequência e do impacto dos perigos e das catástrofes naturais, dos riscos causados pela ação humana, além das inúmeras fontes de incertezas, tem evidenciado muitas fragilidades e desafios das cadeias de suprimentos globais e suas múltiplas redes de operações.

Governos, mercados e sociedades têm manifestado preocupações importantes acerca dos riscos das cadeias de suprimentos. Um fato recente e dramático que justifica esta inquietude mundial é a turbulência provocada pela pandemia de Covid-19 desencadeada a partir de 2020. Esta crise pandêmica, sem precedentes históricos, chocou as cadeias de suprimentos que enfrentaram ondulações severas de oferta e demanda por produtos e serviços, além de efeitos de caos e ressonância propagados em escala mundial. Contudo, apesar do aumento crescente dos riscos das cadeias de suprimentos, poucas empresas tomam medidas efetivas para gerenciá-los (FAHIMNIA *et al.*, 2015). Em contrapartida, com o mundo atual mais sintonizado com o risco, há uma oportunidade de chamar a atenção e encontrar maneiras mais eficazes de identificar e comunicar o risco aos tomadores de decisão (WEF, 2021). Este cenário torna a *Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos* (GRCS) [em inglês *Supply Chain Risk Management* (SCRM)], e em particular a *Modelagem da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos* (MGRCS) [em inglês *Supply Chain Risk Management Modeling* (SCRMM)], um campo atraente de pesquisa e prática profissional.

De acordo com Tang (2006), a GRCS resulta da coordenação ou colaboração entre parceiros da cadeia de suprimentos para garantir a rentabilidade e a continuidade, englobando duas dimensões: os riscos operacionais e de violação; e a mitigação de riscos. Ho *et al.* (2015) ampliam este conceito ao definir a GRCS como um esforço colaborativo interorganizacional utilizando metodologias quantitativas e qualitativas para gerenciar eventos ou condições inesperadas de nível macro e micro, que podem ter um impacto adverso em qualquer parte da cadeia de suprimentos.

Outros estudiosos definem que a GRCS é um processo que envolve as etapas de *identificação, avaliação, mitigação e controle* de possíveis interrupções na cadeia de suprimentos e os seus impactos negativos (AQLAN; LAM, 2016; BUGERT; LASCH, 2018; FAISAL; BANWET; SHANKAR, 2007; FAN; STEVENSON, 2018; HO *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2019; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; WAGNER; BODE, 2008). De forma complementar, pesquisas recentes sobre o processo de GRCS propõem a inclusão das etapas de *comunicação de risco* (OLIVEIRA *et al.*, 2019) e *recuperação de risco* (HO *et al.*, 2015), de modo a tornar as cadeias de suprimentos mais *robustas e resilientes* para lidar com diversos tipos de riscos (ABDEL-BASSET *et al.*, 2019).

Desde a virada do milênio, a literatura da GRCS tem atraído a atenção crescente de pesquisadores e profissionais, progredindo de um tópico emergente para um campo de estudos consolidado. Isto porque, a natureza normativa, descritiva e prescritiva desta área fomenta o desenvolvimento de modelos, métodos, técnicas e ferramentas de tomada de decisão e suporte que são fundamentais para a gestão de riscos.

Uma ampla variedade de estruturas teóricas e/ou metodológicas qualitativas [métodos conceituais] e quantitativas [métodos analíticos e empíricos] está proposta na GRCS (HO *et al.*, 2015). Os métodos quantitativos estão se tornando mais preeminentes que a abordagem qualitativa. Os métodos quantitativos consistem em processos analíticos, por exemplo, programação matemática, métodos multicritério de apoio a decisão, simulação e otimização [tais como as técnicas de Inteligência Artificial (IA), meta-heurísticas e otimização multiobjetivo, etc.]; e empíricos, tais como análise fatorial exploratória, modelagem de equações estruturais, análise de *cluster*, regressão múltipla, dentre outros.

No campo da GRCS, os métodos analíticos têm atraído mais atenção do que os métodos empíricos. Os métodos analíticos e empíricos podem ser aplicados de forma individual ou integrada/combinada/híbrida. Geralmente, os métodos são integrados para superar as suas limitações ou aprimorar os seus desempenhos individuais. Do mesmo modo, a aplicação combinada de métodos analíticos tem atraído mais pesquisadores do que o uso de métodos empíricos integrados (HO *et al.*, 2015).

A GRCS influencia e é influenciada pelas organizações e pela sociedade, de diversas formas, uma vez que as empresas e os governos devem atender às diversas expectativas da sociedade. Deste modo, são fundamentais os novos paradigmas para *identificar, avaliar, mitigar, controlar, comunicar e recuperar* riscos com características multidimensionais.

Portanto, a GRCS se torna elementar na concepção, implementação e avaliação da estratégia organizacional de empresas e instituições que buscam maximizar a competitividade (ANSOFF, 1990; MINTZBERG; QUINN, 2003; PORTER, 2005).

É neste contexto em que se concebe esta tese de doutorado intitulada **Modelagem da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos na Indústria de Petróleo e Gás**. Para tanto, alguns importantes pressupostos, lacunas de conhecimento e oportunidades de pesquisa são estabelecidas de modo a se delinear apropriadamente o problema da investigação.

1.2 PROBLEMA DA PESQUISA

Formular um problema de pesquisa consiste em dizer, de maneira explícita, clara, compreensível e operacional, qual a dificuldade com a qual se defronta e que se pretende resolver, limitando o seu campo e apresentando as suas características (MARCONI; LAKATOS, 2021). Assim, no estabelecimento do problema da presente pesquisa, considera-se, sucintamente, os seguintes pressupostos epistemológicos, metodológicos e tecnológicos:

- a importância teórica e prática de se desenvolver um estudo objetivo, atualizado e abrangente sobre o fluxo de pesquisa da MGRCS;
- a necessidade de se *adotar a abordagem holística* e de se desenvolver um *modelo de risco com caráter normativo e prescritivo* para a GRCS;
- a capacidade *normativa e prescritiva* do método integrado Fuzzy AHP para lidar com a natureza ambígua, instável, subjetiva e incerta do problema de quantificação de riscos a partir da estrutura de preferências do tomador de decisão;
- a aptidão do método híbrido Fuzzy AHP de lidar com os aspectos qualitativos e quantitativos do problema de risco de seleção de fornecedor, um dos tópicos de pesquisa mais importantes da GRCS;
- o fato de que há pouco entendimento sobre como os aspectos sustentáveis se materializam em riscos, além de como é a agregação ou interdependência dos riscos de sustentabilidade em relação aos riscos típicos da cadeia de suprimentos;

- a oportunidade de se desenvolver uma estrutura axiomática holística baseada na abordagem computacional do método Fuzzy AHP para avaliação de riscos multidimensionais da cadeia de suprimentos [riscos típicos e riscos sustentáveis]; e,
- a suposição de que a ação preditiva de quantificação analítica da percepção de risco dos tomadores de decisão corrobora a ação proativa de melhor compreender quais e como as estratégias de *mitigação* e *controle* de riscos podem ser implementadas e quão eficientes serão para as empresas, contribuindo para a implementação e/ou aperfeiçoamento de um *Sistema de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos* (SGRCS).

A partir dos pressupostos supracitados, é proposto o seguinte problema de pesquisa: **quais as oportunidades e limitações de uma modelagem baseada em *Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis* (MCDM/A) e Inteligência Artificial (IA) para a GRCS?**

A partir da formalização do problema da pesquisa, são firmados os seguintes objetivos da investigação.

1.2.1 Objetivos da Pesquisa

Os objetivos da pesquisa definem, de modo mais claro e direto, quais aspectos do problema de pesquisa constituem os principais interesses. Segundo Jung (2004), os objetivos da pesquisa buscam estabelecer o alvo ou a situação a ser atingida, cujo alcance se pode avaliar pela ultrapassagem de metas. Normalmente, a formulação de objetivos visa dois aspectos: geral e específicos.

1.2.1.1 Objetivo geral

Analisar as oportunidades e limitações de uma modelagem baseada em MCDM/A-IA para a GRCS, desenvolvida através de seleção sistemática, validação e teste de sistema do método híbrido Fuzzy AHP aplicado na indústria de petróleo e gás natural.

1.2.1.1.1 Objetivos específicos

- a) Realizar o estado da arte pela revisão sistemática da rede de literatura sobre a MGRCS:
- analisar o desempenho do campo;
 - mapear os estudos mais influentes, as áreas generativas de pesquisa e as áreas evolutivas de pesquisa; e,
 - fornecer direções de pesquisa futura.
- b) Propor e validar um novo sistema computacional para seleção de fornecedor considerando riscos baseado no método Fuzzy AHP, usando o algoritmo *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP):
- avaliar as oportunidades e limitações da utilização do método FEAHP na seleção de fornecedor considerando riscos;
 - analisar o suporte do sistema desenvolvido através do caso de uma empresa brasileira de petróleo e gás natural *onshore*.
- c) Propor e testar sistemicamente uma estrutura holística para avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos com suporte computacional do método Fuzzy AHP, usando o algoritmo FEAHP:
- identificar e avaliar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos de petróleo de gás natural *onshore* do Brasil;
 - priorizar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos estudada usando um índice integral de risco (*IIR*); e,
 - definir o grau geral de risco da cadeia de suprimentos investigada.

1.2.2 Delimitação do Objeto da Pesquisa

Para uma melhor delimitação contextual do objeto da pesquisa, são desenvolvidas e implementadas quatro fases autônomas e complementares da investigação. Em cada uma dessas fases, busca-se identificar as lacunas de conhecimento e oportunidades de novos estudos, conforme se discute a seguir:

- a) Fase 1. *Revisão sistemática da rede de literatura* da MGRCS - por meio de uma profunda e extensiva revisão sistemática de literatura, constata-se que, embora os modelos matemáticos [e/ou quantitativos] e computacionais tenham recebido relativa atenção dos pesquisadores, falta uma análise literária que permita compreender o fluxo de pesquisa do campo ao longo do tempo. Ou seja, detecta-se a ausência de uma classificação das áreas generativas de pesquisa que forneçam ao campo conhecimentos fundamentais; há inexistência de uma classificação das áreas evolutivas de pesquisa que forneçam ao campo conhecimentos para o desenvolvimento de mais pesquisa; e há carência de uma análise sistêmica da rede de literatura que ofereça ao campo a compreensão dinâmica de pesquisas passadas, atuais e futuras. Portanto, um estudo objetivo, atualizado e abrangente sobre o fluxo de pesquisa da MGRCS é desenvolvido na primeira fase da investigação.
- b) Fase 2. *Análise e interpretação das lacunas e tendências de pesquisa* da MGRCS - para identificar, selecionar e implementar a *modelagem conceitual, matemática e computacional* proposta, toma-se como ponto de partida duas questões culminantes na revisão de literatura do campo: *a necessidade de se adotar uma abordagem holística para a GRCS* e *de se desenvolver um modelo de risco com caráter normativo e prescritivo*. A *abordagem holística* é considerada uma facilitadora de mais pesquisa sobre fatores-chave como ‘integração de processos, *design*, gerenciamento da informação, visibilidade e coordenação de risco’. Esses fatores devem ‘impactar diretamente as necessidades reais da indústria, os tomadores de decisão e a sustentabilidade’. Já os modelos de risco com *tipologia normativa e prescritiva* evoluída devem considerar ‘tanto as estratégias quanto o desempenho real da cadeia de suprimentos’. Assim, na segunda fase da investigação, assimilam-se as lacunas e tendências de pesquisa do campo para subsídio ao processo de identificação, seleção e implementação da MGRCS.
- c) Fase 3. *Seleção e validação* da MGRCS - a partir das fases anteriores, é possível realizar a *seleção e validação empírica* do modelo para a GRCS. Assim, é criada uma ‘prova de conceito’ para se verificar a viabilidade de execução da modelagem selecionada. Para tanto, é considerado o ‘problema de riscos de seleção de fornecedor’, em razão da importância significativa deste tópico de pesquisa no campo da GRCS. O processo de seleção de fornecedor é tratado como um aspecto vital da cadeia de suprimentos, pois pode trazer benefícios como a redução de custos de aquisição, a

inovação de produtos/serviços e processos de produção eficazes (YOON *et al.*, 2018). Para o desenvolvimento da modelagem desse problema é necessária a verificação da viabilidade de vários modelos aplicáveis, considerando-se a natureza e a tratabilidade da proposição, a simplificação e precisão do modelo, etc. Neste sentido, se constata que problemas relacionados à identificação, seleção, avaliação, priorização e classificação de riscos da cadeia de suprimentos podem envolver um processo de tomada de decisão com múltiplos objetivos que precisam ser tratados simultaneamente. Fato que corrobora esta constatação é que parte da literatura sobre riscos da cadeia de suprimentos afirma que a seleção de fornecedor, por sua vez, pode ser tratada como um problema de tomada de decisão de múltiplos critérios. Pois, os diferentes critérios de seleção de fornecedor podem variar dependendo das necessidades, preferências, estratégia de tecnologia e riscos de uma empresa (CHAN; KUMAR, 2007). Um modelo de decisão multicritério corresponde a uma representação formal e com simplificação do problema de decisão com múltiplos objetivos (ALMEIDA *et al.*, 2015). Esse modelo de decisão deve incorporar a estrutura de preferências do decisor para o problema em questão, sendo geralmente desenvolvido com base em algum método de apoio à decisão [em inglês *Multicriteria Decision-Making* (MCDM) ou *MultiCriteria Decision Aiding/Analysis* (MCDA)]. Entre os métodos MCDM/A, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) [em português ‘Processo de Hierarquia Analítica’] é o mais usado e comumente associado a outros métodos, técnicas e abordagens (SAATY, 1980). O AHP é um método de critério único de síntese que utiliza a racionalidade compensatória para a avaliação das alternativas, representando os julgamentos humanos através de números exatos ou nítidos. Contudo, apesar da popularidade do AHP, esse método tem sido criticado pela incapacidade de lidar com a incerteza inerente ao mapeamento da percepção de preferências do tomador de decisão (YADAV; SHARMA, 2015). Segundo Simon (1982), a tomada de decisão de qualquer indivíduo está sujeita à racionalidade limitada pela informação disponível, insuficiência cognitiva e pelo tempo para decisão. Como no problema de seleção de fornecedor o modelo de preferência humana é incerto, vago e subjetivo, torna-se mais apropriado para o decisor usar ‘avaliações de intervalo’ ou ‘avaliações difusas’. Para lidar com as incertezas do problema de decisão e eliminar as desvantagens do AHP, a abordagem integrada Fuzzy AHP é preferível na pesquisa de seleção de fornecedores. Para Simić *et al.* (2017), a Teoria dos Conjuntos Fuzzy (ZADEH, 1965) é uma das técnicas de IA com vasta aplicação em problemas da cadeia de suprimentos. A combinação dos métodos AHP e Fuzzy resulta em uma potente

metodologia MCDM/A-IA com grande utilidade para lidar com a natureza ambígua e incerta do problema de quantificação de riscos. Portanto, a abordagem integrada Fuzzy AHP ajuda a desenvolver as capacidades singulares dos métodos AHP e Fuzzy, superando algumas de suas fraquezas individuais. Além disso, há pouca literatura sobre o uso do Fuzzy AHP na avaliação de risco de fornecedor, bem como sobre a sua viabilidade de implementação em um ambiente de manufatura prático; e não há discussão suficiente sobre o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para apoiar a avaliação e seleção de fornecedor considerando os riscos. Portanto, diante das lacunas e oportunidades de pesquisa identificadas nesta terceira fase da investigação, é selecionado o método híbrido Fuzzy AHP para lidar com o problema de risco de seleção de fornecedor. A *modelagem conceitual, matemática e computacional* desenvolvida nesta fase é submetida a um *teste de validação empírica* através do estudo de caso de seleção de fornecedor considerando riscos de uma empresa brasileira de petróleo e gás natural com ativos *onshore*. Essa *validação* proporciona a garantia de que a modelagem satisfaz os requisitos informativos, funcionais, comportamentais e de desempenho necessários (FERNANDES, 2017; PRESSMAN, 2011; SOMMERVILLE, 2011).

d) Fase 4. *Teste de sistema* da MGRCS - a consecução da fase 3 permite realizar o *teste de sistema* da MGRCS a partir de um complexo problema de *Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos* (ARCS). Para tanto, se considera o pressuposto de que o desempenho geral do processo de GRCS depende essencialmente das etapas de *identificação de riscos* e *avaliação de riscos* (TRAN; DOBROVNIK; KUMMER, 2018). A *identificação de riscos* busca obter *insights* sobre qualquer ameaça, incerteza, vulnerabilidade e evento inesperado que pode se materializar em algum risco. Já a *avaliação de riscos* procura determinar quais soluções de *mitigação de riscos* e *controle de riscos* devem ser implementadas e quão eficientes serão (BRADLEY, 2010; HECKMANN; COMES; NICKEL, 2015; JÜTTNER *et al.*, 2003; TAZELAAR; SNIJDERS, 2013). Outra conjectura levada em consideração refere-se à natureza dos riscos da cadeia de suprimentos. Este assunto tem sido discutido extensivamente nos últimos anos, com destaque para duas categorias principais de riscos: ‘riscos típicos’ e ‘riscos relacionados à sustentabilidade’. Os chamados ‘riscos típicos’ da cadeia de suprimentos envolvem interrupções, distúrbios e atrasos no fluxo de bens, recursos financeiros ou serviços (por exemplo, CHOPRA; SODHI, 2004; CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006; EGRI, 2013; HAHN; KUHN, 2012; MANUJ; MENTZER, 2008;

SHEFFI, 2001; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006). Os ‘riscos relacionados à sustentabilidade’ da cadeia de suprimentos provocam reações críticas das partes interessadas [*stakeholders*], envolvendo risco ambiental, risco social e risco econômico (por exemplo, COUSINS; LAMMING; BOWEN, 2004; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2014; LEE, 2009). Tanto os ‘riscos típicos’ quanto os ‘riscos de sustentabilidade’ podem causar danos à cadeia de suprimentos. Portanto, ambas categorias de riscos devem ser tratadas na GRCS. Contudo, a partir da análise da pesquisa anterior do campo, observa-se que a integração das questões de sustentabilidade à literatura tradicional de riscos típicos é muito incipiente. Ainda há pouca compreensão sobre como os aspectos sustentáveis se materializam em riscos, além de sua agregação ou interdependência em relação aos riscos típicos da cadeia de suprimentos (CHOPRA; SODHI, 2004; FOERSTL *et al.*, 2010; HARWOOD; HUMBY, 2008; HOFMANN *et al.*, 2014; SEURING; MÜLLER, 2008). Diante disso, nesta última fase da pesquisa propõe-se uma estrutura holística baseada na abordagem computacional do método Fuzzy AHP para a avaliação de riscos típicos e riscos sustentáveis da cadeia de suprimentos [aqui, também denominados de ‘riscos multidimensionais’]. Deste modo, é possível realizar o *teste de sistema* da MGRCS com o intuito de se verificar se todos os seus elementos combinam-se corretamente e se a função global do sistema é alcançada (FERNANDES, 2017; PRESSMAN, 2011; SOMMERVILLE, 2011). Para isso, é considerada a avaliação da ‘probabilidade de ocorrência’ e do ‘impacto/consequência’ de centenas de riscos multidimensionais de dez empresas de exploração e produção de petróleo e gás natural com ativos *onshore* no Brasil. A modelagem proposta busca quantificar a avaliação de riscos da cadeia de suprimentos a partir de informações imprecisas, instáveis, subjetivas e vagas, derivadas da percepção dos tomadores de decisão das empresas estudadas. Para tanto, pondera-se a suposição de que a quantificação analítica da percepção dos decisores sobre risco [ação preditiva] contribua para uma melhor reflexão das empresas [ação proativa] acerca de quais estratégias de *mitigação* e *controle de riscos* podem ser implementadas e quão eficientes serão no desempenho da cadeia de suprimentos.

Pelo exposto, a contextualização e delimitação do objeto de pesquisa nas quatro fases principais da investigação permitem elucidar efetivamente os pressupostos adotados, o problema e os objetivos da tese.

1.3 RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

O risco é de fundamental importância na economia global (ZSIDISIN; RITCHIE, 2010). Os riscos das cadeias de suprimentos podem se manifestar através de distúrbios e interrupções nas operações e fluxos de bens, serviços e capital, além de provocar reações adversas de mercados, sociedades e governos. Por exemplo, distúrbios e interrupções inesperadas nas cadeias de suprimentos podem causar um grande impacto nas empresas, como altas despesas financeiras e atrasos no fornecimento, além de uma reputação negativa da marca e queda na confiança de clientes e investidores.

Com o aumento da terceirização, globalização, produção *just-in-time*, das incertezas políticas e ameaças cibernéticas, a capacidade de identificar, avaliar e gerenciar efetivamente os riscos das cadeias de suprimentos é mais importante do que nunca. De acordo com o 10.º *Allianz Risk Barometer* (AGCS, 2021), pela primeira vez, o risco de interrupção e/ou ruptura das cadeias de suprimentos é a principal preocupação dos provedores de seguros globais. Deste modo, “agora as empresas precisam se preparar para uma gama mais ampla de gatilhos disruptivos e eventos extremos, buscando construir maior resiliência das cadeias de suprimentos e modelos de negócios para gerenciar exposições futuras (p. 08)”.

É por isso que a implementação de abordagens de GRCS se tornou crucial na esfera da Gestão de Operações. A GRCS é um campo que explora uma ampla gama de ameaças internas e externas provenientes do ‘ecossistema da rede de operações’, contribuindo para melhor compreender os riscos e projetar robustez na cadeia de suprimentos. Segundo Khojasteh (2018), o objetivo da GRCS é identificar as fontes potenciais de riscos e implementar ações adequadas a fim de mitigar e controlar distúrbios, interrupções e críticas das partes interessadas.

Deste modo, a relevância e as contribuições desta pesquisa são principalmente de ordem *socioambiental, econômica e acadêmico-científica*:

- a) pelo prisma *socioambiental*, os resultados da pesquisa podem contribuir, de alguma forma, para a melhoria da sociedade ao conceber e implementar uma MGRCS alicerçada em conhecimentos avançados. A adoção prática da referida modelagem poderá contribuir significativamente com os esforços de *identificação e avaliação de riscos* que, por sua vez, poderão subsidiar estratégias de *mitigação e controle de riscos* de empresas e instituições. Acredita-se que organizações economicamente saudáveis e socioambientalmente responsáveis podem ofertar produtos e serviços que melhor

atendam às necessidades e expectativas da sociedade, além da geração de empregos diretos e indiretos, pagamento de tributos, etc. Isso é claramente evidenciado quando se observa as aplicações empíricas desta tese; pois, a cadeia de suprimentos de petróleo e gás natural (CSPG) é tida como uma das mais importantes do mundo em razão de sua alta conectividade com cadeias de suprimentos de outros setores, como saúde e medicamentos, alimentos, manufatura, serviços, etc. Por isso, vários riscos podem atrapalhar os processos da CSPG, que, por sua vez, podem resultar em operações ineficientes, caras e com graves impactos sociais e ambientais (SAKIB *et al.*, 2021). Especificamente, a CSPG *onshore* brasileira é formada por um grupo grande e diversificado de fornecedores diretos e indiretos, inclusive de pequeno e médio porte. As empresas pesquisadas nesta tese atuam principalmente na exploração e produção (E&P) de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres localizados nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil. Grande parte da produção dessas empresas acontece em municípios do interior do país e com baixos índices de renda, desenvolvimento social e humano. Muitas destas localidades são dependentes de *royalties* do petróleo para a sua dinâmica social (ANP, 2020). Em acréscimo, ressalta-se que os empreendimentos de E&P de petróleo e gás natural também podem ser perigosos à vida e ao meio ambiente, porque seus riscos e vulnerabilidades são gatilhos potenciais para desastres naturais de longa escala. Assim, estudos sobre a gestão de riscos da CSPG também devem focar em medidas que evitem distúrbios e interrupções geradas por riscos naturais e ambientais, garantindo a continuidade das operações a longo prazo. Portanto, a incorporação da discussão sobre riscos de sustentabilidade nesta tese também fortalece a sua relevância e contribuição socioambiental.

b) sob a ótica *econômica*, o primeiro ponto a se destacar é que esta pesquisa se situa no âmbito dos estudos sobre Gestão da Cadeia de Suprimentos, uma área de pesquisa fértil e consolidada, principalmente, a partir de conhecimentos transdisciplinares das Ciências Administrativas, Econômicas, Sociais, Computação e Engenharias. Por isso, os resultados da presente investigação podem contribuir com a melhoria da performance econômica, gerencial e técnica das cadeias de suprimentos, pois promove o desenvolvimento de modelos, métodos e ferramentas de tomada de decisão e sistemas de suporte elementares para a competitividade estratégica dos negócios. O estudo teórico e empírico desta tese sobre *risco de seleção de fornecedor, risco catastrófico e internacional, risco de fornecimento, risco de produção, risco de demanda, risco de*

transporte, risco financeiro, risco de informação, risco ambiental, risco social e risco econômico é uma valiosa contribuição para as atuais discussões sobre novos modelos de negócios, cadeias de suprimentos e redes de operações. Particularmente, a indústria de petróleo e gás natural é considerada como de fundamental importância para o crescimento e desenvolvimento econômico dos países. Apesar da necessária ascensão da transição energética mundial pautada na passagem de uma matriz focada nos combustíveis fósseis para uma matriz com baixas ou zero emissões de carbono, o desenvolvimento da indústria de petróleo e gás natural ainda se expande e se expandirá a curto e médio prazos (WEC, 2021). Deste modo, os preços do petróleo, gás natural e derivados continuarão a impactar significativamente a inflação, a taxa de desemprego, o comércio, o consumo, a pobreza e outras condições econômicas no Brasil e no mundo. Como a CSPG é suscetível a distúrbios, rupturas, falências, mudanças macroeconômicas e políticas e desastres naturais que conduzem a riscos mais altos, a gestão de riscos exerce um papel de extrema importância na busca da competitividade econômica deste Setor.

c) pela perspectiva *acadêmico-científica*, esta tese traz contribuições inéditas para importantes áreas de conhecimento, tais como Administração, Ciência da Computação, Engenharia de Produção, Gestão Estratégica, Gestão de Riscos, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Logística e Gestão de Operações. A investigação discute conceitos e aplicações matemáticas e computacionais para a GRCS que possibilitam a melhor reflexão de pesquisadores e profissionais. Assim, este trabalho pode ser útil a outras pessoas, organizações e setores econômicos pela sua contribuição cumulativa ao conjunto de conhecimentos do tema estudado, pela inovadora abordagem proposta e pela superação de algumas importantes lacunas do conhecimento. Neste sentido, destacam-se: a realização de uma ampla e profunda revisão sistemática da rede de literatura do campo, o que fornece uma compreensão dinâmica de pesquisas passadas, atuais e futuras; uma primeira aplicação empírica da pesquisa, que discute o uso de uma abordagem integrada MCDM/A-IA para resolver um problema importante nas atuais cadeias de suprimentos relacionado com a seleção de fornecedor considerando-se os riscos. Para tanto, foi proposto e validado um novo sistema computacional baseado no método Fuzzy AHP [com o uso do algoritmo FEHP], que oferece suporte à seleção de fornecedor de forma automatizada, promovendo importantes análises teóricas e práticas; e, uma segunda aplicação empírica, desenvolvida mediante uma extensa revisão literária

sobre os ‘riscos típicos’ e ‘riscos sustentáveis’ da cadeia de suprimentos, a partir da qual foi proposta uma nova estrutura holística para avaliação de riscos multidimensionais com o suporte computacional do método Fuzzy AHP [FEAHP]. A aplicação deste *framework*, em um grupo de dez empresas, permite a realização do teste sistêmico da modelagem desenvolvida, o que amplia a compreensão da gestão holística de riscos, respeitando-se tanto os processos quanto as decisões intra e interorganizacionais. Até então, não havia sido encontrada, em revisão bibliográfica, nenhuma investigação na qual uma abordagem computacional Fuzzy AHP fosse usada para realizar uma avaliação integrada e abrangente envolvendo todos os ‘tipos de risco’ examinados nesta pesquisa. Em complemento, o sistema computacional Fuzzy AHP [FEAHP] mostra-se apto a modelar adequadamente qualquer problema de decisão multicritério, independentemente do número de variáveis. Por tudo isso, até onde se tem conhecimento, esta tese se caracteriza como um esforço original na análise das oportunidades e limitações de uma modelagem baseada em MCDM/A-IA para a GRCS, desenvolvida através de seleção sistemática, validação e teste de sistema com aplicações práticas na indústria brasileira de petróleo e gás natural *onshore*. O Quadro 1 apresenta, em ordem cronológica, um conjunto de 11 produções acadêmicas derivadas. São 5 trabalhos veiculados em eventos acadêmico-científicos nacionais e internacionais e 4 artigos publicados em periódicos internacionais qualificados. Além disso, destaca-se o registro do programa de computador MCDM/A-IA desenvolvido [doravante denominado *software* HAZE] junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Por fim, há a submissão realizada de um quinto artigo em um periódico internacional qualificado [item 11], fruto das discussões inéditas da pesquisa apresentadas nas últimas seções.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta tese está organizada em quatro capítulos: *Introdução*, *Metodologia*, *Resultados e Discussão* [*Coletânea de Artigos Autorais*] e *Conclusões*, conforme mostra a Figura 1. Nesta *Introdução* é discutida a contextualização da pesquisa, o problema e os objetivos da investigação, a delimitação do objeto de estudo e a relevância e contribuição da pesquisa. No próximo capítulo é apresentada a *Metodologia* da investigação, destacando-se a

caracterização da pesquisa quanto aos propósitos, quanto à natureza, quanto à abordagem e quanto aos procedimentos técnicos adotados.

No terceiro capítulo são tratados os *Resultados e Discussão*, estruturado como uma coletânea dos principais artigos autorais produzidos. Tratam-se de três artigos autônomos e complementares que correspondem, respectivamente, aos objetivos específicos do estudo. O Artigo 1, que enfoca o estado da arte, é intitulado *Modelagem da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos: uma Revisão Sistemática da Rede de Literatura*; o Artigo 2, que destaca a proposição e validação do sistema computacional, é denominado *Risco de Seleção de Fornecedor: um Novo Sistema de Tomada de Decisão Baseado em Computador com Fuzzy Extended AHP*; e, o Artigo 3, que focaliza a proposição e teste sistêmico da estrutura holística com suporte computacional, é intitulado *Uma Estrutura Holística para Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos com Suporte de um Sistema Computacional Fuzzy Extended AHP: o Caso dos Riscos Típicos e Sustentáveis da Indústria Brasileira de Petróleo e Gás Natural Onshore*.

Finalmente, no último capítulo, são apresentadas as *Conclusões*, destacando-se as principais contribuições, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

Quadro 1 - Produções acadêmicas derivadas

N.	Tipo de produção	Título da publicação/registro da produção	Qualis ¹	Fator de impacto ²	CiteScore ³
1	Resumo expandido	FAGUNDES, M.V.C.; FREIRES, F.G.M.; VIEIRA DE MELO, S.B.A. Strategic Management Model Supply Chain Risk Upstream Oil and Natural Gas Fields Mature Onshore. <i>In: 5TH PRODUCTION & OPERATIONS MANAGEMENT WORLD CONFERENCE: Joining P&OM Forces Worldwide, Present and Future of Operations Management (P&OM)</i> , 5., set. 6-10, 2016, Havana - Cuba.	-	-	-
2	Artigo	FAGUNDES, M.V.C.; MARQUES, R.S.; FREIRES, F.G.M. Gestão da Cadeia de Suprimentos para Sistemas de Energias Renováveis: conceitos e reflexões sobre a realidade brasileira. <i>In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)</i> , 36., out. 3-6, 2016, João Pessoa (PB). <i>Anais [...]</i> . João Pessoa (PB): ABEPRO, 2016. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_236_374_29904.pdf >	-	-	-
3	Artigo	FAGUNDES, M.V.C. <i>et al.</i> Seleção de Áreas para Licitações através do Método TOPSIS. <i>In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA (CBE)</i> , 17., nov. 21-22, 2017, Rio de Janeiro (RJ). <i>Anais [...]</i> . Rio de Janeiro (RJ): CBE, 2017.	-	-	-
4	Artigo ⁴	FAGUNDES, M.V.C. <i>et al.</i> Quantitative and Computational Modeling for Supply Chain Risk Management: review and bibliometric analysis. <i>In: XXI SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO (SEMEAD) e XIII RESEARCH WORKSHOP ON INSTITUTIONS AND ORGANIZATIONS (RWIO)</i> , 21., nov. 7-9, 2018, São Paulo (SP). <i>Anais [...]</i> . São Paulo (SP): USP, 2018. Disponível em: < https://login.semead.com.br/21semead/anais/resumo.php?cod_trabalho=598 >	-	-	-
5	Resumo expandido	FAGUNDES, M.V.C. <i>et al.</i> Projeto de Desenvolvimento de Modelo de Inteligência Artificial para Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos de Energia. <i>In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTUDOS ORGANIZACIONAIS (CBE0)</i> , 6., ago. 28-31, 2019, Recife (PE). <i>Anais [...]</i> . Recife (PE): UFPE, 2019. Disponível em: < https://www.even3.com.br/anais/vicbeo/168365-projeto-de-desenvolvimento-de-modelo-de-inteligencia-artificial-para-gestao-de-riscos-da-cadeia-de-suprimentos-de/ >	-	-	-
6	Artigo	FAGUNDES, M.V.C. <i>et al.</i> Decision-Making Models and Support Systems for Supply Chain Risk: literature mapping and future research agenda. European Research on Management and Business Economics , v. 26, n. 2, p. 63-70, 2020a. DOI: 10.1016/j.iemeen.2020.02.001	A1	5.024	8.3
7	Artigo ^{5,6}	FAGUNDES, M.V.C. <i>et al.</i> Supply Chain Risk Management Modelling: a systematic literature network analysis review. IMA Journal of Management Mathematics , v. 31, n. 4, p. 387-416, 2020b. DOI: 10.1093/imaman/dpaa019	A2	1.636	3.1
8	Artigo ^{5,7}	FAGUNDES, M.V.C.; HELLINGRATH, B.; FREIRES, F.G.M. Supplier Selection Risk: a new computer-based decision-making system with Fuzzy Extended AHP. Logistics , v. 5, n. 13, 17 p., 2021. DOI: 10.3390/logistics5010013	-	-	-

¹ É um sistema brasileiro de avaliação de periódicos, mantido pela CAPES/MEC [considera-se o ‘Qualis Periódicos 2013-2016’ e o ‘Qualis Referência 2019’].

² É um método bibliométrico para avaliar a importância de periódicos científicos em suas respectivas áreas, publicado pelo *Journal Citation Reports (JCR)*.

³ É uma medida que reflete o número anual de citações de artigos publicados em determinado periódico de acordo com o banco de dados Scopus, Elsevier.

⁴ Obra laureada com o prêmio de melhor artigo científico da ‘Área de Produção e Operações’ no XXI SEMEAD/XIII RWIO, realizado pela Universidade de São Paulo (USP).

⁵ Artigos que compõem o capítulo *Resultados e Discussão [Coletânea de Artigos Autorais]*.

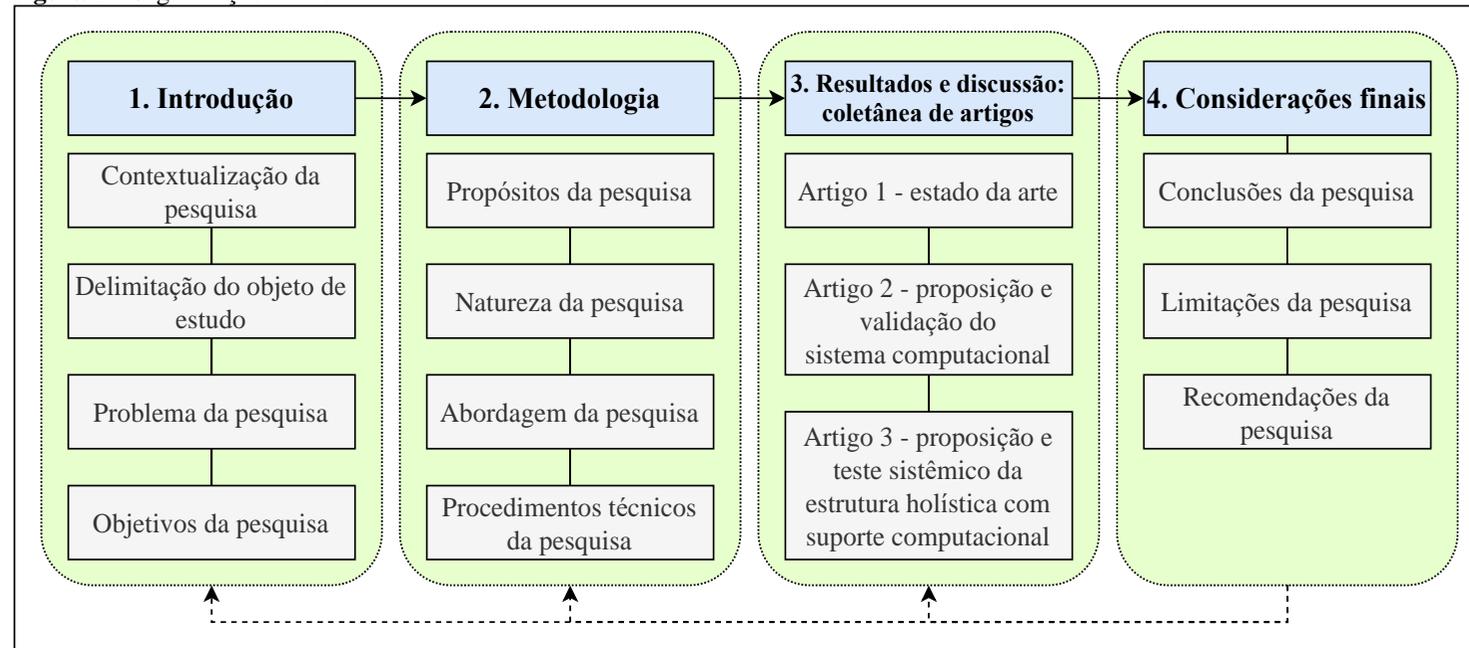
⁶ Artigo mais lido do periódico *IMA Journal of Management Mathematics* [até a data da defesa].

⁷ Artigo publicado no periódico *Logistics* [MDPI, Basel - Suíça], que compõe o *Emerging Sources Citation Index*, Clarivate Analytics.

9	Artigo	FAGUNDES, M.V.C. <i>et al.</i> Multicriteria Decision-Making System for Supplier Selection Considering Risk: a computational Fuzzy AHP-based approach. IEEE Latin America Transactions , v. 19, n. 9, p. 1564-1572, 2021. DOI: 10.1109/TLA.2021.9468610	A2	0.729	2.0
10	Software ⁸	FAGUNDES, M.V.C. Software HAZE : a MCDM/A-AI tool. Processo INPI/BR n. 512021002240-8, 21 set. 2021. Expedição do certificado de registro de programa de computador em RPI 2659, 21 dez. 2021.	-	-	-
11	Artigo ^{5,9}	FAGUNDES, M.V.C. <i>et al.</i> A Holistic Framework for Supply Chain Risk Assessment with Support from a FEAHP Computational System: the case of typical and sustainable risks in the Brazilian onshore oil and natural gas industry. Journal of Operations Management , v. to be defined, n. to be defined, p. to be defined, year to be defined. DOI: to be defined.	A1	6.970	8.1

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 1 - Organização da tese



Fonte: Autoria própria (2021).

⁸ Programa de computador, baseado no método Fuzzy AHP [FEAHP], de nome fantasia HAZE, registrado no INPI [registro expedido em RPI 2659, 21 dez. 2021].

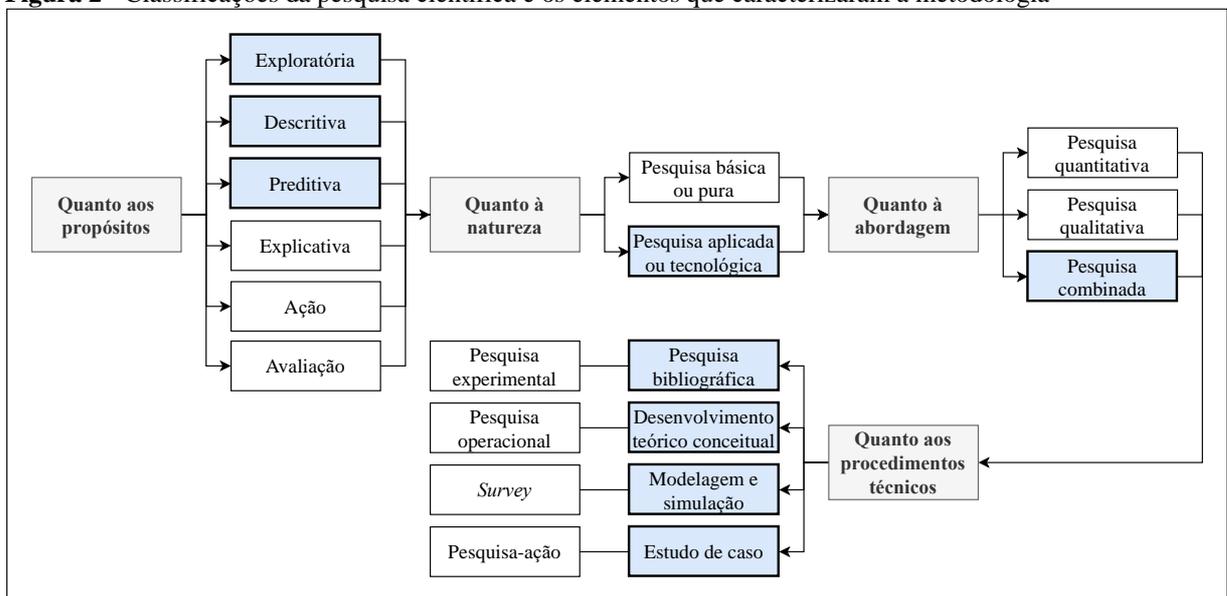
⁹ Artigo resultante da síntese das discussões inéditas das últimas seções da tese, submetido ao periódico *Journal of Operations Management*.

2 METODOLOGIA

A investigação científica visa conhecer cientificamente um ou mais aspectos de determinado assunto. Para tanto, deve ser sistemática, metódica e crítica. O produto da pesquisa científica deve contribuir para o avanço do conhecimento humano (KÖCHE, 2014). De acordo com Jung (2004), a metodologia da pesquisa busca detalhar o conjunto de métodos selecionados, ou seja, discriminar as atividades necessárias à execução física do projeto, que retratam a experiência e o conhecimento do autor, para garantir a consecução dos objetivos propostos e o repasse dos conhecimentos adquiridos para a sociedade. Em complemento, Marconi e Lakatos (2021) afirmam que a metodologia da pesquisa se refere ao conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo - conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do pesquisador.

Existem vários tipos de pesquisa. Cada tipo possui, além do núcleo comum de procedimentos, suas peculiaridades próprias (GANGA, 2012; MARTINS, 2018; PRODANOV; FREITAS, 2013). A Figura 2 mostra as principais classificações da pesquisa científica, destacando os elementos que caracterizaram a metodologia da tese.

Figura 2 - Classificações da pesquisa científica e os elementos que caracterizaram a metodologia



Fonte: adaptado de Jung (2004); Martins (2018); Marconi e Lakatos (2021).

Quantos aos **propósitos da pesquisa** [ou objetivos, fins], esta tese caracteriza-se como *exploratória, descritiva e preditiva*. É uma *pesquisa exploratória*, pois busca, inicialmente, “analisar sob que ótica o fenômeno está sendo observado [...], explorar o fenômeno em si, podendo dessa forma revelar novos aspectos do mesmo” (GANGA, 2012, p. 204). Esta característica da tese é evidenciada em seu primeiro objetivo específico que é ‘realizar o estado da arte pela revisão sistemática da rede de literatura sobre a MGRCS’. A tese também é caracterizada como uma *pesquisa descritiva*, pois realiza a investigação empírica [*estudo de casos*] para se obter informações descritivas qualitativas e quantitativas do problema de pesquisa através da análise de fatos e variáveis principais. Os objetivos específicos ‘propor e validar um novo sistema computacional para seleção de fornecedor considerando riscos baseado no método Fuzzy AHP [...]’ e ‘propor e testar sistemicamente uma estrutura holística para avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos com suporte computacional do método Fuzzy AHP [...]’ corroboram a ênfase descritiva da investigação.

Este estudo também é definido como uma *pesquisa preditiva*, pois parte do pressuposto de que um modelo conceitual, matemático e computacional pode ser desenvolvido para explicar ou prever o comportamento de um sistema produtivo em função dos parâmetros de entrada desse sistema (BERTRAND; FRANSOO, 2009). Ou seja, a modelagem proposta, baseada em um método MCDM/A-IA [Fuzzy AHP], tem a capacidade preditiva de quantificar a percepção de risco dos decisores para prever, por exemplo, ‘qual o melhor fornecedor alternativo para empresa focal considerando riscos’ ou ‘qual o grau geral de risco da cadeia de suprimentos investigada’. Além disso, a *identificação e avaliação* das ‘variáveis de risco com valor preditivo’ no estudo podem contribuir para o estabelecimento futuro de estratégias de *mitigação e controle de riscos* nas empresas estudadas.

Quanto à **natureza dos resultados**, esta tese é definida como uma *pesquisa aplicada ou tecnológica*, pois procura gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de um problema específico. Segundo Jung (2004), a *pesquisa aplicada ou tecnológica* visa alcançar a inovação em um produto ou processo, frente a uma demanda ou necessidade preestabelecida. Este conceito ratifica o caráter de *pesquisa aplicada ou tecnológica* deste estudo, pois ele é uma proposta original de análise das ‘oportunidades e limitações de uma modelagem baseada em MCDM/A-IA [Fuzzy AHP] para a GRCS com aplicações reais na indústria de petróleo e gás natural’.

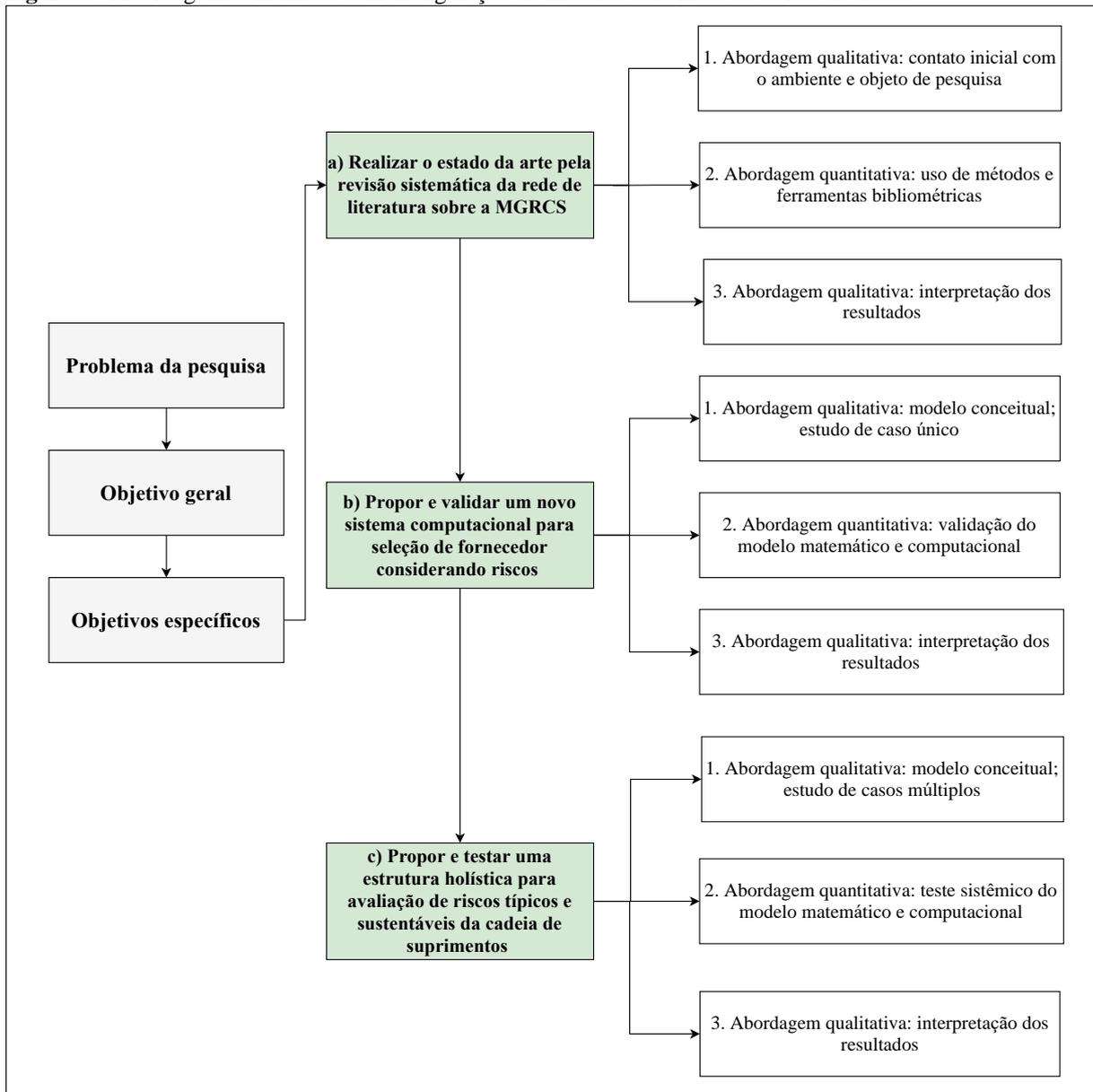
Em relação à **abordagem do problema**, esta tese é caracterizada como uma *pesquisa combinada*, isto é, *quantitativa e qualitativa* ao mesmo tempo. De acordo com Martins (2018),

“o ato de mensurar variáveis de pesquisa é a característica mais marcante da *abordagem quantitativa* [...]” (p. 47), por isso, “as principais preocupações da *abordagem quantitativa* são a mensurabilidade, causalidade, generalização e replicação” (p. 49). Os métodos de pesquisa mais apropriados para se conduzir uma *pesquisa quantitativa* [nas áreas de Engenharia de Produção, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Gestão de Operações e afins] são o *survey*, a *modelagem e simulação* e o *experimento* (GANGA, 2012; MARTINS, 2018).

Já na *abordagem qualitativa*, a pesquisa tem o ambiente como fonte direta de dados, onde o pesquisador mantém contato direto com o ambiente e o objeto de estudo em questão (PRODANOV; FREITAS, 2013). Para Martins (2018, p. 53), as características da *pesquisa qualitativa* são a “ênfase na interpretação subjetiva dos indivíduos, delineamento do contexto do ambiente da pesquisa, abordagem não muito estruturada, múltiplas fontes de evidências, importância da concepção da realidade organizacional e proximidade com o fenômeno estudado”. Segundo Ganga (2012) e Martins (2018), os métodos de pesquisa mais indicados para se conduzir uma *pesquisa qualitativa* [nas áreas de Engenharia de Produção, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Gestão de Operações e afins] são a *pesquisa bibliográfica*, o *desenvolvimento teórico-conceitual*, o *estudo de caso* e a *pesquisa-ação*. Esses autores ainda ressaltam que a *pesquisa bibliográfica*, por sua vez, também pode ser caracterizada como quantitativa, especialmente quando utiliza métodos e técnicas bibliométricas. Em suma, o aspecto distintivo entre as *abordagens quantitativa* e *qualitativa* está na ênfase do indivíduo que está sendo estudado (BRYMAN, 1989; GANGA, 2012; MARTINS, 2018).

De acordo com Martins (2018), a *pesquisa combinada* possibilita um entendimento melhor dos problemas de pesquisa que a *abordagem quantitativa* e a *abordagem qualitativa* permitiriam isoladamente. Ou seja, a combinação de abordagens permite que a vantagem de uma amenize a desvantagem da outra, onde a possibilidade de se usar todos os métodos e técnicas de coleta de dados disponíveis pode prover evidências mais abrangentes. Especificamente na área de Gestão da Cadeia de Suprimentos, o uso combinado das *abordagens quantitativa* e *qualitativa* é cada vez mais imprescindível (GANGA, 2012; KOTZAB *et al.*, 2005; MARTINS, 2018). Martins (2018) destaca que a *triangulação* é o tipo de *abordagem combinada* mais utilizada nas pesquisas, pois busca agregar o que há de melhor em cada abordagem de forma a entender melhor um problema de pesquisa. A Figura 3 mostra como a *abordagem combinada*, através da *triangulação* de métodos e técnicas de coleta de dados, foi utilizada nesta tese para o alcance dos objetivos relacionados ao problema investigado.

Figura 3 - Abordagem combinada com triangulação de métodos e técnicas de coleta de dados



Fonte: Autoria própria (2021).

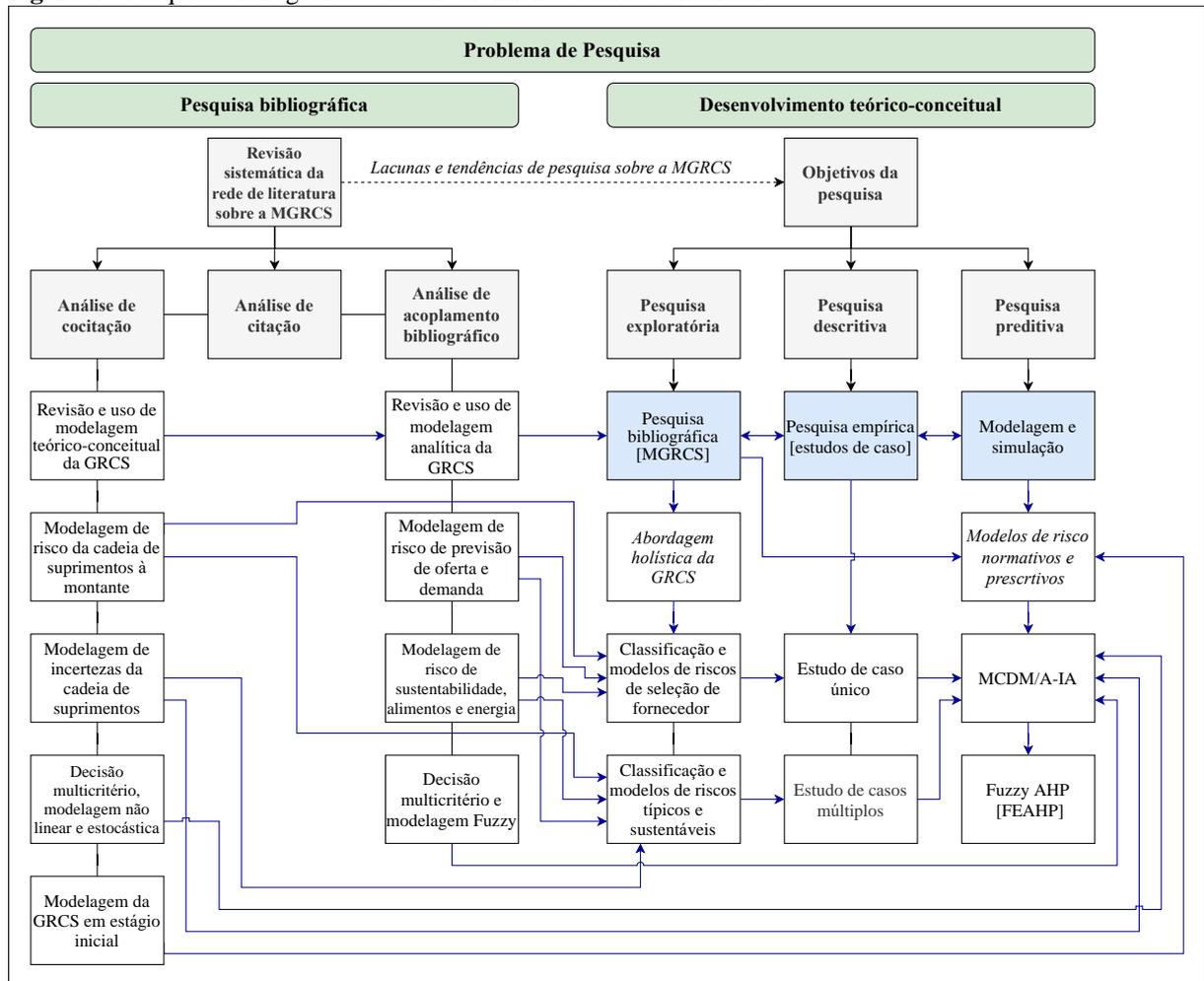
Como a *pesquisa quantitativa* e a *pesquisa qualitativa* apresentam vantagens e desvantagens, nesta tese há concessões entre controle, realismo e generalização para assegurar um processo de pesquisa de ciclo duplo, onde as duas abordagens são equilibradas.

Finalmente, os **procedimentos técnicos** utilizados são a *pesquisa bibliográfica*, o *desenvolvimento teórico-conceitual*, a *modelagem e simulação* e o *estudo de caso*. Esses procedimentos são detalhados a seguir.

2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E DESENVOLVIMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL

A *pesquisa bibliográfica* procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos. O principal resultado da *pesquisa bibliográfica* é a revisão de literatura sobre as contribuições científicas do passado, permitindo a criação de perspectivas para pesquisas futuras (GANGA, 2012). A *pesquisa bibliográfica* deste estudo se baseia, principalmente, no estado da arte pela revisão sistemática da rede de literatura da MGRCS no período de 20 anos [de 1999 a 2019]. Para tanto, são coletados 566 artigos publicados na base de dados Scopus, dos quais 120 são revisados. Busca-se analisar o desempenho do campo, mapear os estudos mais influentes, as áreas generativas e evolutivas de pesquisa e fornecer direções de pesquisa futura. São usados métodos e ferramentas bibliométricas de análise de rede de citação que permitem compreender o desenvolvimento dinâmico do fluxo de pesquisa do campo. Os resultados obtidos sugerem que cinco áreas de pesquisa generativa fornecem os conhecimentos fundamentais para quatro áreas de pesquisa evolutiva. A interpretação das lacunas e tendências dessas áreas permite estabelecer direções de pesquisa futura na qual há duas questões centrais: *adotar a abordagem holística para a GRCS e desenvolver modelos de risco normativos e prescritivos*. A completa revisão sistemática da rede de literatura da MGRCS é apresentada no Capítulo 3, seção 3.1.

A *pesquisa bibliográfica* subsidia o *desenvolvimento teórico-conceitual* da tese. O *desenvolvimento teórico-conceitual*, por sua vez, permite o alcance dos objetivos da investigação a partir das *pesquisas exploratória, descritiva e preditiva*, conforme mostra a Figura 4. Ressalta-se que cada uma dessas pesquisas é viabilizada pela *abordagem combinada [quantitativa e qualitativa]* com *triangulação* de métodos e técnicas de coleta de dados. Na *pesquisa bibliográfica*, as áreas mapeadas na revisão sistemática da rede de literatura compõem agrupamentos [*clusters*] que fundamentam o *desenvolvimento teórico-conceitual*. Ou seja, através da *pesquisa exploratória* há a assimilação dos resultados da *pesquisa bibliográfica* ao que se refere a *abordagem holística da GRCS, a classificação e os modelos de riscos de seleção de fornecedor*, além da *classificação e os modelos de riscos típicos e relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos*.

Figura 4 - Pesquisa bibliográfica e desenvolvimento teórico-conceitual

Fonte: Autoria própria (2021).

Na *pesquisa descritiva*, a análise empírica dos casos estudados é feita considerando-se as lacunas e tendências da *pesquisa bibliográfica* referentes à ‘modelagem de risco da cadeia de suprimentos à montante [risco de fornecedor/fornecimento]’, ‘modelagem de incertezas da cadeia de suprimentos’, ‘modelagem de risco de previsão de oferta e demanda’, ‘modelagem de risco de sustentabilidade, alimentos e energia’, etc. Finalmente, na *pesquisa preditiva* a *modelagem e simulação* [conceitual, matemática e computacional] fundamenta-se na *pesquisa bibliográfica* que destaca a necessidade teórica e prática de se *desenvolver modelos de risco normativos e prescritivos*, considerando-se tipologias evoluídas de métodos baseados em ‘decisão multicritério, modelagem não linear e estocástica’, ‘decisão multicritério e modelagem Fuzzy’ [por exemplo, Fuzzy AHP], etc.

2.2 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Segundo Ackoff e Sasieni (1968) um modelo é uma representação formal e simplificada da realidade. “A representação de um sistema por meio de um modelo torna-se essencial para o processo de tomada de decisão, pois proporciona uma descrição simplificada das complexidades e incertezas do problema por meio de uma estrutura lógica” (GANGA, 2012, p. 252). O uso de modelos tem sido disseminado na área da Gestão da Cadeia de Suprimentos para apoiar a descrição, o estudo, a análise e outras atividades em relação a problemas e sistemas de interesse (REINER, 2005).

Nesta tese é realizada uma *modelagem conceitual, matemática e computacional*. De acordo com Almeida (2013, p. 19), os *modelos conceituais* “são úteis no estudo de um problema de decisão, pois permitem representar a concepção inicial das variáveis e seus relacionamentos, podendo também representar uma sequência de ações”. Os *modelos matemáticos* objetivam criar uma representação do problema, reunindo dados como restrições e variáveis, a fim de processar essas informações de modo a fornecer ao usuário uma solução otimizada para o cenário desejado (SHAPIRO, 2006). Os *modelos computacionais* [ou *modelos de simulação computacional*] referem-se aos métodos de estudo de uma ampla gama de modelos do mundo real através de avaliação numérica e desenvolvimento e uso de um *software* projetado para emular as características ou operações dos sistemas (SOMMERVILLE, 2011). A seguir, são discutidos os detalhes da modelagem desenvolvida.

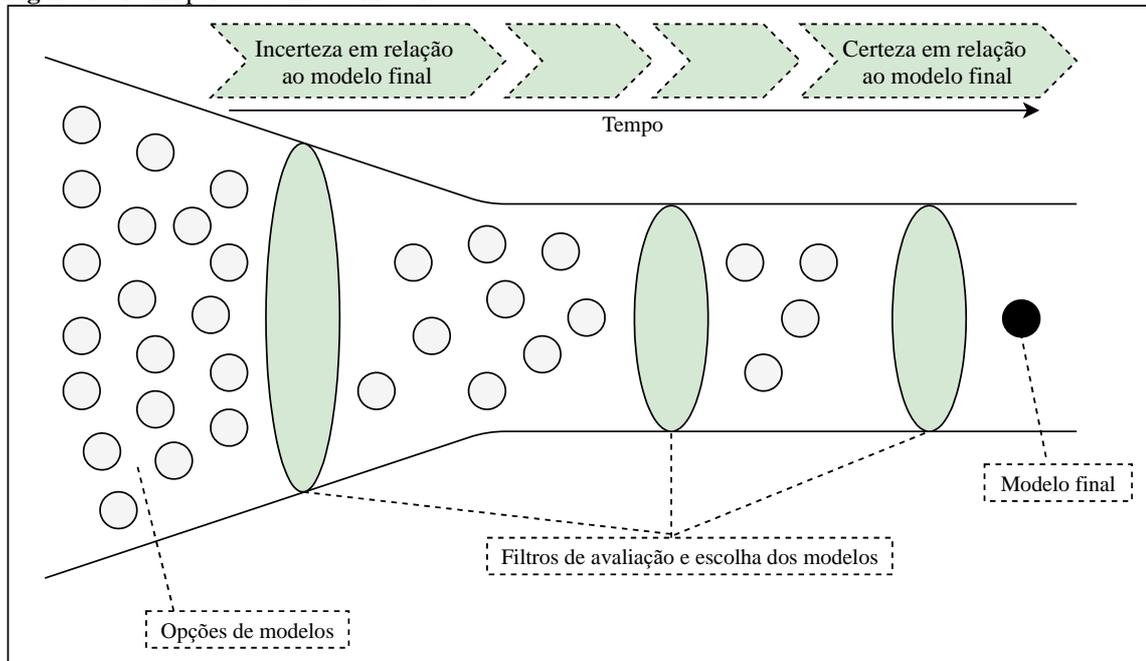
2.2.1 Modelagem Conceitual

Geralmente, os modelos são desenvolvidos através de determinados métodos, técnicas e/ou ferramentas com estruturas teóricas e/ou metodológicas claras e precisas. Para Almeida (2013, p. 18 e 19), “um modelo não pode ser tão simples de forma que leve a erros na análise da situação estudada e nem tão complexo de modo a se tornar intratável. A tratabilidade é um dos pontos principais a nortear os limites de simplificação *versus* precisão do modelo”.

Na GRCS há uma significativa diversidade de modelos conceituais (HO *et al.*, 2015). A viabilidade de vários modelos aplicáveis é considerada no desenvolvimento deste estudo. A Figura 5 mostra o processo de modelagem, a partir da ideia ilustrativa de um funil pelo qual

passam todos os possíveis modelos para o problema da pesquisa. Há a redução progressiva [filtragem] no número de possibilidades até que o modelo final seja alcançado.

Figura 5 - Funil para escolha do modelo



Fonte: adaptado de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2016).

Considerando-se o problema desta pesquisa, algumas possibilidades de modelos são eliminadas. A partir da *pesquisa bibliográfica*, constata-se que parte significativa da literatura do campo considera que a identificação, seleção, avaliação, priorização e classificação de riscos da cadeia de suprimentos podem envolver uma tomada decisão com múltiplos objetivos. Um modelo de decisão com múltiplos objetivos normalmente é desenvolvido com base em algum método de apoio à decisão com múltiplos critérios [MCDM/A] (ALMEIDA, 2013).

De acordo com Almeida *et al.* (2015) as principais classificações para os métodos MCDM/A são: métodos discretos ou métodos contínuos [de acordo com a natureza do conjunto de alternativas]; métodos de critério único de síntese [por exemplo, métodos *Smarts*, *Smarter*, *Macbeth*, *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, etc.]; métodos de sobreclassificação [com destaque para a família de métodos *Electre* e *Promethee*]; e métodos interativos [como, por exemplo, *Programação Linear Multiobjetivo (PLMO)*, *Programação Inteira*, etc.].

O AHP, por sua vez, é o método MCDM/A mais utilizado e integrado a outros métodos, técnicas e abordagens. O AHP é proposto originalmente por Thomas L. Saaty (1980) como um método que busca opiniões de decisores na forma de comparações de pares e, posteriormente,

deriva escalas de razão de matrizes de comparação que indicam as preferências entre as diferentes alternativas de critérios. A soma ponderada normalizada sobre os critérios fornece uma pontuação geral associada a cada alternativa disponível e, assim, ajuda o tomador de decisão a escolher a melhor decisão. O método AHP usa a escala nítida de 1-9 em que as preferências do decisor avaliadas com rótulos de linguagem natural [por exemplo, ‘igual, não muito forte, forte’, etc.] são representadas por um número nítido e registradas em matrizes de comparação (SAATY, 1980; SAATY, 1990; SAATY, 2008).

Contudo, apesar da popularidade do AHP, ele é criticado pela incapacidade de lidar com a incerteza inerente ao mapeamento da percepção de preferências do tomador de decisão (YADAV; SHARMA, 2015). Pois, a tomada de decisão de qualquer indivíduo está sujeita a uma racionalidade limitada (SIMON, 1982). Diante disso, Van Laarhoven e Pedrycz (1983) propõem uma metodologia para lidar com a imprecisão e a incerteza inerentes ao processo de tomada de decisão associando o método AHP à Teoria dos Conjuntos Fuzzy, esta última formalizada por Lotfali Askar-Zadeh (ZADEH, 1965). Esta metodologia foi denominada como Fuzzy AHP ou FAHP e possui recentes e importantes aplicações. A alta aplicabilidade do método híbrido Fuzzy AHP se deve à sua flexibilidade para ser combinado com outras técnicas e abordagens, além de sua objetividade de implementação prática (KUBLER *et al.*, 2016). Em complemento, Simić *et al.* (2017) ressaltam que a Teoria dos Conjuntos Fuzzy é uma das técnicas de IA com grande utilização em atuais problemas do mundo real, incluindo a área da Gestão da Cadeia de Suprimentos. Portanto, a combinação dos métodos AHP e Fuzzy resulta em uma importante metodologia MCDM/A-IA com grande utilidade para lidar com a natureza ambígua e incerta do problema de quantificação de riscos.

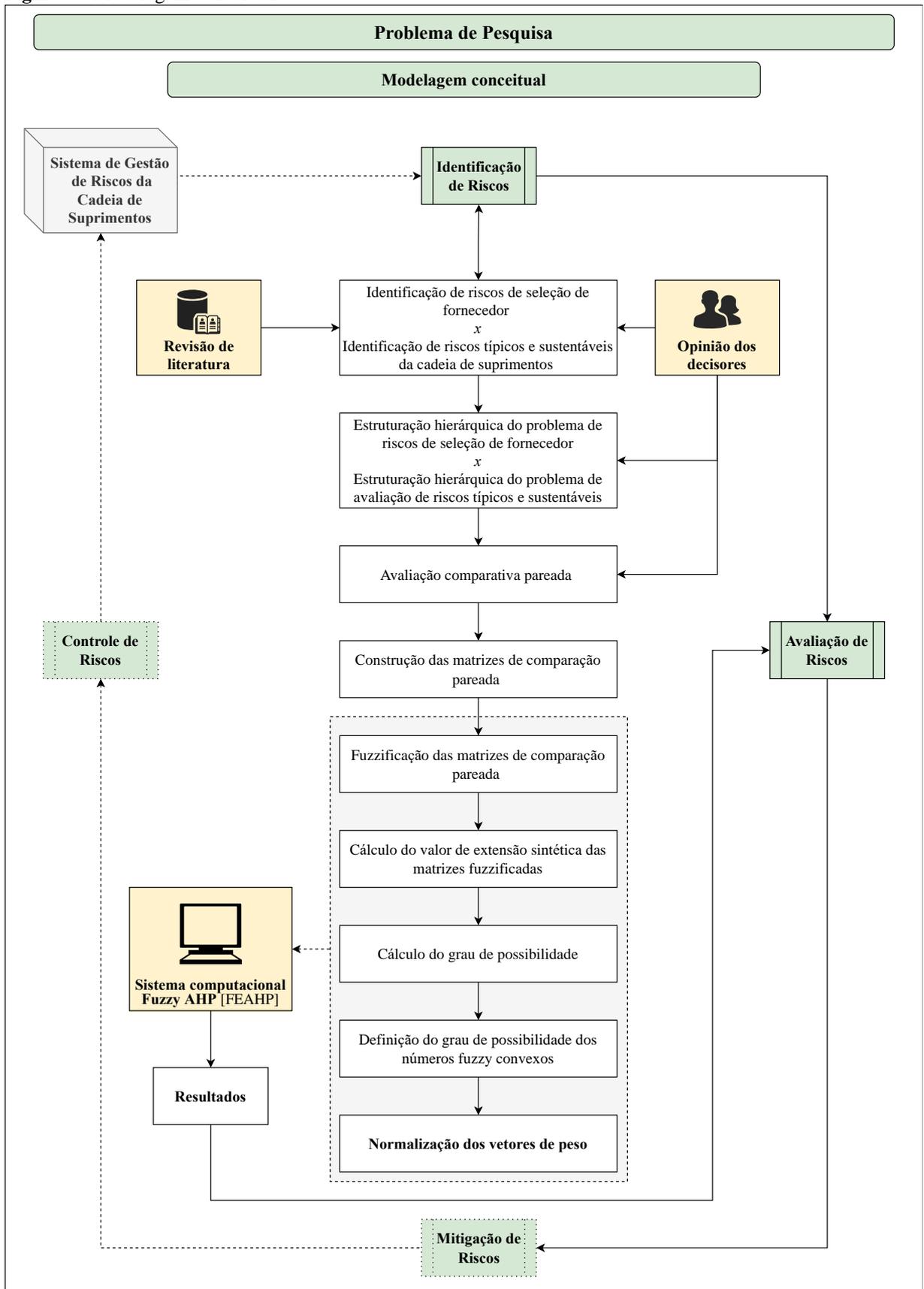
Diante do exposto, a MGRCS proposta nesta tese baseia-se numa perspectiva MCDM/A-IA pelo uso de uma abordagem computacional do método integrado Fuzzy AHP. Essencialmente, busca-se realizar as duas primeiras etapas do processo de GRCS, ou seja, a *identificação* e a *avaliação de riscos*. Para tanto, se considera a suposição de que a quantificação analítica da percepção dos decisores sobre risco [ação preditiva] contribua para uma melhor reflexão das empresas [ação proativa] sobre quais estratégias de *mitigação* e *controle de riscos* podem ser implementadas, ao ponto de estimular a criação ou o aperfeiçoamento de um SGRCS. A Figura 6 mostra a modelagem conceitual proposta.

A modelagem do método Fuzzy AHP é tipificada como ‘discreta com critério único de síntese’, que utiliza a ‘racionalidade compensatória’ (ALMEIDA, 2013). Ela se mostra capaz de estruturar todos os elementos do modelo concebido para a *identificação* e *avaliação de*

riscos, ações gerenciais caracterizadas como um problema próprio de decisão multicritério. A referida modelagem pode compreender as estruturas de preferências do decisor, a representação dos objetivos de decisão através de famílias de critérios, relações de dominância, avaliação intracritério e intercritério, além do uso de escala intervalar e procedimentos de normalização. A implementação desta modelagem se dá através do *estudo de casos*. O primeiro *estudo de caso* busca a *validação empírica* da modelagem a partir de um problema de seleção de fornecedor considerando riscos. O *estudo de casos múltiplos* busca testar sistemicamente a modelagem a partir de um problema de avaliação de riscos multidimensionais, ou melhor, avaliação da ‘probabilidade de ocorrência’ e do ‘impacto/consequência’ de ‘riscos típicos’ e ‘riscos relacionados à sustentabilidade’ da cadeia de suprimentos.

No *estudo de casos* se procede, resumidamente, como mostra a Figura 6. Primeiro, uma abrangente e atualizada relação de centenas de riscos extraídos da revisão de literatura é apresentada às empresas participantes. A participação dessas empresas se dá através de suas respectivas equipes de tomadores de decisão [técnicos, analistas, gestores e executivos de diversas áreas estratégicas do negócio] em uma série de sessões de *brainstorming*, *brainwriting*, entrevistas e questionários. Tomando a literatura pertinente como ponto de partida, as equipes de decisores identificam os principais ‘tipos de risco’ [critérios] e ‘fatores de risco’ [subcritérios]. Em seguida, utiliza-se a abordagem AHP para estruturação hierárquica dos problemas investigados. Após a construção das hierarquias, os tomadores de decisão avaliam comparativamente os principais ‘tipos de risco’ e ‘fatores de risco’. Ou seja, são decididas as preferências de um ‘risco’ em relação a outro. Para tanto, são utilizados questionários com perguntas em forma de comparação pareada [em inglês *pairwise*]. A partir das avaliações dos decisores, constrói-se as matrizes de comparação pareada, onde as variáveis linguísticas [com escala intervalar] são então convertidas em Números Fuzzy Triangulares (NFT). Neste ponto, é possível aplicar a modelagem matemática do método Fuzzy AHP, especificamente do algoritmo *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP), introduzido originalmente por Chang (1996), como se discute a seguir.

Figura 6 - Modelagem conceitual



Fonte: Autoria própria (2021).

2.2.2 Modelagem Matemática

Os modelos matemáticos baseiam-se na pressuposição de que informações e variáveis relevantes do problema de tomada de decisão podem ser quantificadas. Segundo Andrade (2015), o modelo matemático mais apropriado para um determinado problema depende de vários fatores, como: a natureza matemática das relações entre as variáveis, os objetivos do tomador de decisão, a extensão do controle sobre as variáveis de decisão e o nível de incerteza associado ao ambiente da decisão.

A *modelagem matemática* pode ser classificada, basicamente, em *modelagem quantitativa axiomática* e *modelagem quantitativa empírica* (BERTRAND; FRANSOO, 2009). Nesta tese, opta-se pela *modelagem quantitativa axiomática*, pois se almeja a resolução de um problema idealizado de tomada de decisão. A *modelagem axiomática* possibilita a geração de conhecimento sobre o comportamento de certas variáveis do modelo e sobre como manipulá-las, buscando uma solução ótima ou uma melhoria para o problema de pesquisa (REINER, 2005).

O método Fuzzy AHP, por sua vez, é considerado pela Teoria ou Análise de Decisão como um modelo matemático que promove um processo racional de seleção da melhor alternativa entre as diversas alternativas e que admite a incerteza nos dados e avaliações (NETO; PUREZA, 2018). Diversos modelos matemáticos [ou algoritmos] Fuzzy AHP [ou FAHP] estão sugeridos na literatura com o objetivo de extrair pesos com precisão de matrizes de comparação fuzzy. Pois, há diversas complexidades associadas à aritmética dos números fuzzy no cálculo de pesos a partir de matrizes de comparação difusas. Entre os algoritmos mais populares na literatura, cinco merecem destaque: o ‘Método Logarítmico Mínimo Quadrado (LLSM)’ (VAN LAARHOVEN; PEDRYCZ, 1983), o ‘Método da Média Geométrica de Buckley’ (BUCKLEY, 1985), o ‘LLSM com Normalização Modificada’ (BOENDER; GRAAN; LOOTSMA, 1989), a ‘Análise de Extensão Fuzzy (FEAHP)’ (CHANG, 1996) e o ‘FEAHP com Normalização Modificada’ (WANG; LUO; HUA, 2008).

Contudo, a abordagem da ‘Análise de Extensão Fuzzy’ de Chang (1996) é a mais bem-sucedida em relação a todas as outras, pois possui um algoritmo que requer menos esforço computacional e tem mais flexibilidade de uso prático (AHMED; KILIC, 2019; KUBLER *et al.*, 2016; YADAV; SHARMA, 2015). A seguir, são detalhadas as etapas típicas do método de ‘Análise de Extensão Fuzzy’ ou *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP)

(CHANG, 1996). Essas etapas são criteriosamente adotadas na modelagem matemática, conforme mostrado na Figura 6.

Considere que $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ é um conjunto de objetos e $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$ é um conjunto de objetivos. Cada objeto é tomado e a análise de extensão para cada objetivo, g_i , é realizada, respectivamente. Portanto, m valores de análise de extensão para cada objeto podem ser obtidos, com os seguintes sinais: $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, M_{g_i}^3, \dots, M_{g_i}^m$ com $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Todos $M_{g_i}^j$ são NFT, ou seja, $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

Com base nesta premissa, a extensão sintética fuzzy em relação ao i th objeto pode ser definida de acordo com a Equação (1):

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

Para obter $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$, a operação de adição fuzzy dos valores da análise de extensão m para uma matriz particular é realizada conforme a Equação (2):

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2)$$

E para obter $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ o operador de adição difusa dos valores $M_{g_i}^j$ é realizado com a Equação (3):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (3)$$

Então, o inverso do vetor calculado é obtido de acordo com a Equação (4):

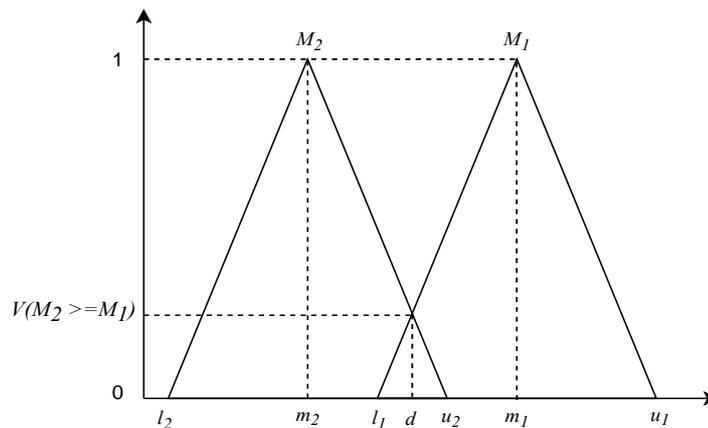
$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (4)$$

O grau de possibilidade de $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ pode ser definido conforme a Equação (5):

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (5)$$

O resultado da Equação (5) corresponde ao ponto de maior interseção entre M_1 e M_2 . Essa interseção é representada pelo "ponto d " da Figura 7. Porém, para resolver a Equação (5) os cálculos estabelecidos na Equação (6) são necessários:

Figura 7 - Interseção entre M_1 e M_2



Fonte: Chang (1996).

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (6)$$

O grau de possibilidade de um número fuzzy convexo ser maior do que k números fuzzy convexas $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$ pode ser definido pela Equação (7):

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ e } (M \geq M_2) \text{ e } \dots \text{ e } (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i) \end{aligned} \quad (7)$$

Considerando que a Equação (8) é:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (8)$$

Para $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$, o peso do vetor é dado pela Equação (9):

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (9)$$

Onde $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ são n elementos.

Por fim, os vetores de peso normalizados são calculados na Equação (10), onde W é um número não fuzzy:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (10)$$

Como esta tese está estruturada a partir de uma *Coletânea de Artigos Autorais*, a discussão aprofundada da *modelagem matemática* do método Fuzzy AHP [FEAHP] e suas especificidades de aplicação prática no *estudo de casos* são tratadas no Capítulo 3, nas seções 3.2 e 3.3. A seguir, é discutida a *modelagem computacional* realizada para o desenvolvimento e a implementação de uma ferramenta de *software* capaz de automatizar todo o processo de cálculo do método Fuzzy AHP [FEAHP].

2.2.3 Modelagem Computacional

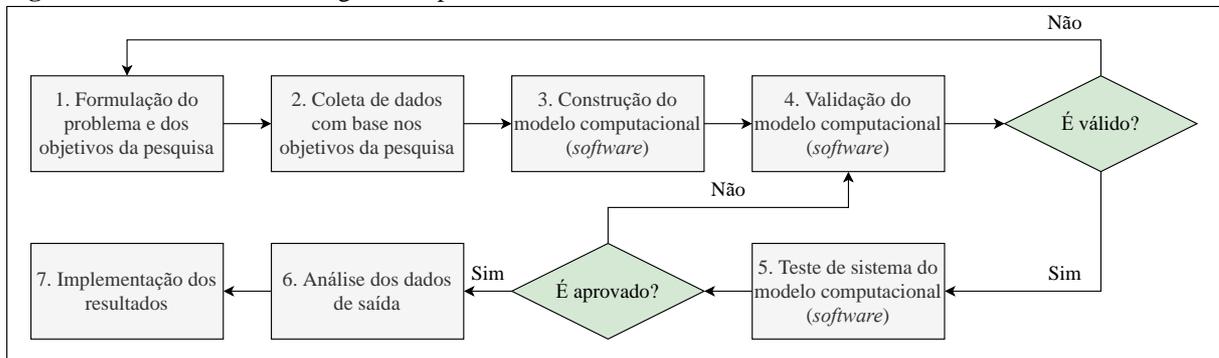
A *modelagem computacional* [ou *simulação computacional*] refere-se ao processo de projetar e criar um modelo computacional, a partir de um sistema real, com o objetivo de realizar um experimento numérico que forneça uma melhor compreensão do comportamento de tal sistema para certas condições de operação (LAW; KELTON, 2000; REINER, 2005).

De acordo com Reiner (2005), há um consenso na literatura sobre o processo de *modelagem computacional de eventos discretos*, conforme descrito por Law e Kelton (2000). Nesta tese, adota-se um processo de *modelagem computacional* similar, como mostra a Figura 8. Na etapa 1 é formulado o problema e os objetivos da pesquisa; na etapa 2, realiza-se a coleta de dados a partir dos objetivos da pesquisa [objetivos específicos a, b e c]; na etapa 3 inicia-se a construção do modelo computacional com base no modelo conceitual do estudo [mostrado na Figura 6]; na etapa 4 é feita a *validação do modelo computacional* baseado no método Fuzzy AHP [*software*] através da aplicação prática do *estudo de caso* de seleção de fornecedor considerando riscos. Essa validação [prova de conceito] busca verificar se o sistema está de

acordo com sua especificação e satisfaz às necessidades reais dos usuários, assegurando que o *software* possua todos os requisitos informativos, funcionais, comportamentais e de desempenho desejáveis (FERNANDES, 2017; PRESSMAN, 2011; SOMMERVILLE, 2011).

Na etapa 5 é feito o *teste de sistema* do modelo computacional Fuzzy AHP [*software*] a partir do *estudo de casos múltiplos* de avaliação holística de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos. Para Sommerville (2011), o *teste de sistema* busca integrar todos os componentes de um sistema para testá-lo como um todo. Pressman (2011, p. 404) complementa que o “*teste de sistema* verifica se todos os elementos se combinam corretamente e se a função/desempenho global do sistema é conseguida”. Assim, o *teste de sistema* desta pesquisa busca verificar o funcionamento integral e final do *software* a partir do processamento de um maior volume de dados de riscos multidimensionais oriundos de dez grandes empresas; finalmente, nas etapas 6 e 7, se realiza a análise dos dados de saída e a implementação dos resultados, respectivamente.

Figura 8 - Processo de modelagem computacional



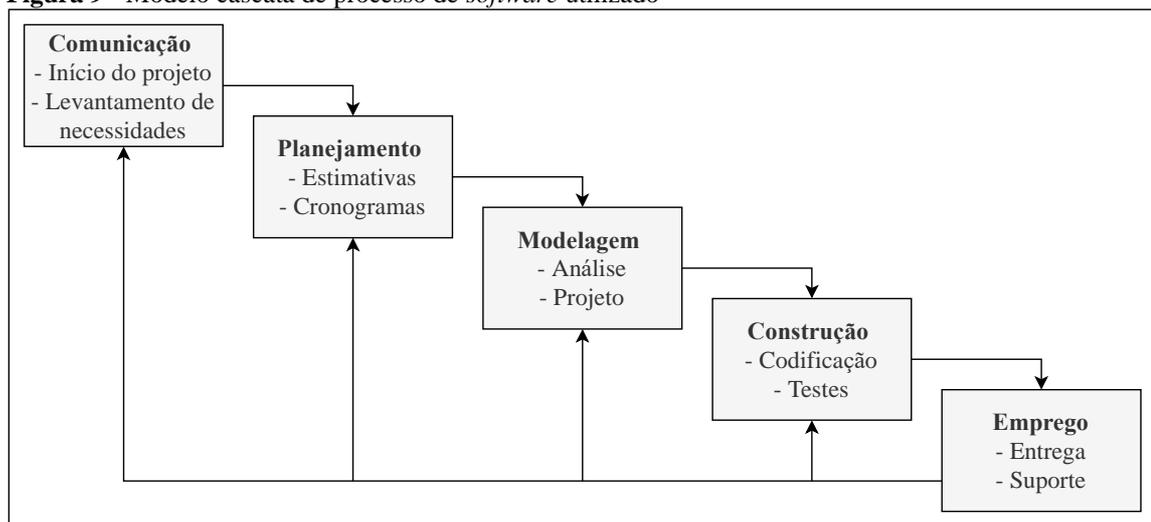
Fonte: Autoria própria (2021).

As atividades de *construção*, *validação* e *teste de sistema* do modelo computacional estão alicerçadas nas boas práticas de Engenharia de *Software*. A Engenharia de *Software* é uma área do conhecimento da Computação voltada para a especificação, o desenvolvimento e a manutenção de sistemas de *software* aplicando tecnologias e práticas de gerência de projetos e outras disciplinas, objetivando organização, produtividade e qualidade (FERNANDES, 2017). As práticas de Engenharia de *Software* representam estruturas de atividades do processo de *software*, onde são definidos os modelos de ciclo de vida do *software*. Segundo Pressman (2011) e Sommerville (2011), os modelos de processo de *software* podem se comportar de forma sequencial, na qual as atividades seguem determinada ordem; incremental, na qual ocorre

a divisão de escopo; iterativa, na qual ocorre a retroalimentação das atividades; ou evolutiva, na qual o *software* é aprimorado.

No presente estudo, adota-se o *modelo cascata* [ou *ciclo de vida clássico*], como mostra a Figura 9. O *modelo cascata* sugere uma abordagem sequencial e sistemática para o desenvolvimento de *software*, “começando com o levantamento de necessidades [problema e/ou objetivos], avançando pelas fases de planejamento, modelagem, construção, emprego e culminando no suporte contínuo do *software* concluído (PRESSMAN, 2011, p. 59)”.

Figura 9 - Modelo cascata de processo de *software* utilizado



Fonte: Pressman (2011).

No *modelo cascata*, a construção do *software* está relacionada com a criação detalhada da ferramenta computacional por meio de uma combinação de codificação e testes. Conforme Fernandes (2017), a construção de um *software* é impulsionada principalmente pela ‘*linguagem de construção*’, que inclui todas as formas de comunicação pelas quais uma pessoa pode especificar uma solução de um problema. Dentre as principais ‘*linguagens de construção*’, as *linguagens de programação* são consideradas o tipo mais flexível em termos de aplicação e desenvolvimento; contudo, exigem o máximo de treinamento e habilidade para serem usadas de maneira eficaz. Para Sommerville (2011), existem três tipos gerais de notação usados para *linguagens de programação*, a saber: *linguística* [por exemplo, C/C++, Java]; *formal* [por exemplo, Event-B]; e *visual* [por exemplo, Labview].

A construção do *software* proposto utiliza a *linguagem de programação* MATLAB[®], versão 2020a, The MathWorks, Inc. MATLAB[®] é uma poderosa linguagem usada na computação técnica. O seu nome vem do termo em inglês *MATrix LABORatory* [Laboratório de

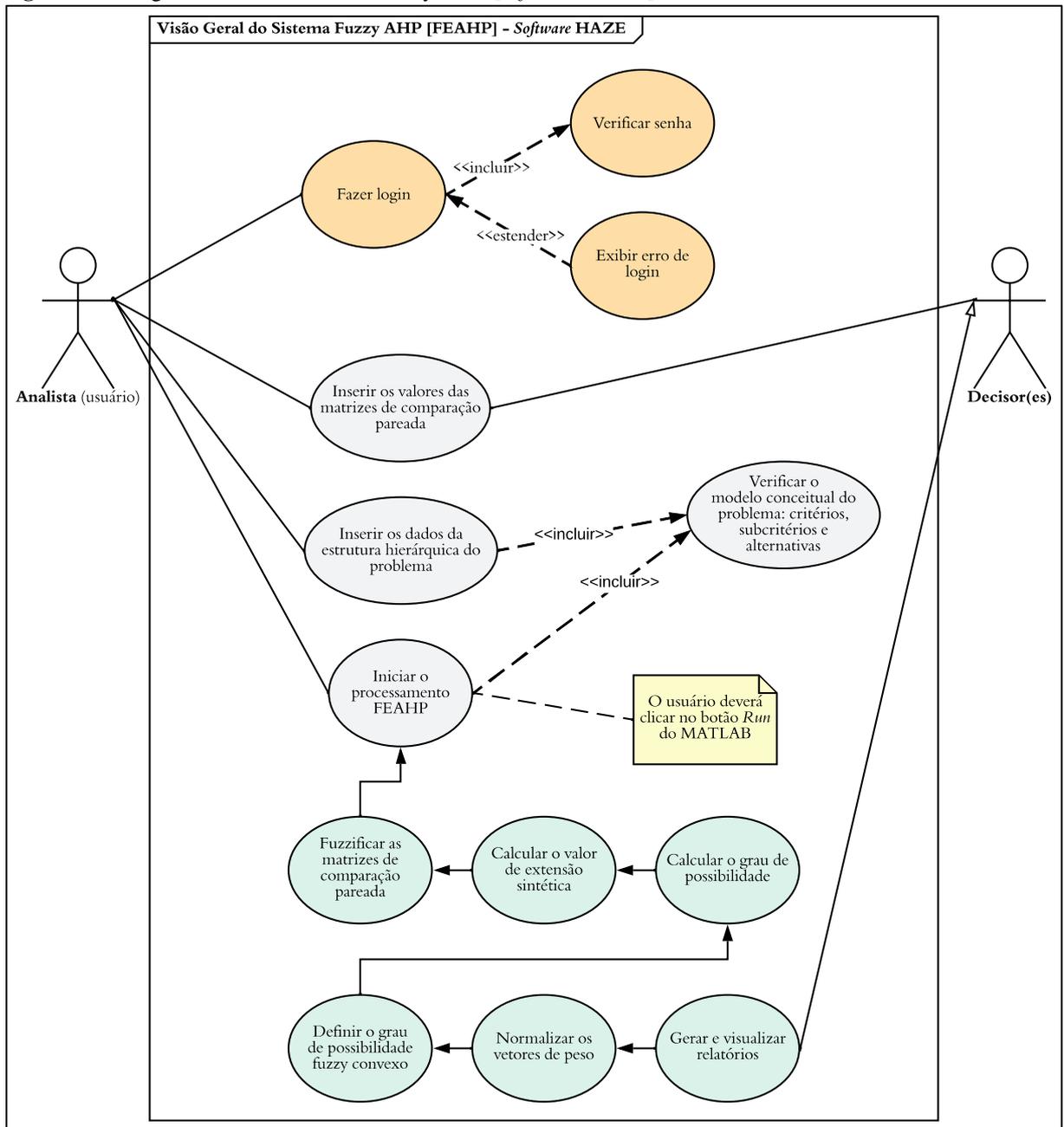
Matrizes], pois as matrizes [ou arranjos] são o seu elemento básico de dados. O MATLAB® pode ser usado em cálculos matemáticos, modelagem e simulações, análise de dados e processamento, visualização e traçado de gráficos e no desenvolvimento de algoritmos (GILAT; SUBRAMANIAM, 2008). Ressalta-se que a construção de um *software* baseado no método Fuzzy AHP, em linguagem MATLAB®, é motivada pela busca por soluções de ordem prática como a necessidade de se obter mais racionalidade, confiabilidade, flexibilidade e agilidade em um sistema de decisão complexa.

A Figura 10 apresenta o diagrama de caso de uso, em notação UML¹⁰, do sistema Fuzzy AHP [FEAHP] desenvolvido, doravante denominado *software* HAZE. Na utilização desse *software*, destaca-se a interação entre dois atores do processo decisório: o *analista* e o *decisor*. O *decisor* [seja um indivíduo ou um grupo de decisores] é o responsável pela tomada de decisão, devendo indicar suas preferências sobre as consequências do *modelo de decisão* [ou *modelo de avaliação*], além de outras informações factuais sobre o problema em análise. O *analista* de decisão fornece suporte metodológico ao *processo de decisão* [ou *processo de avaliação*], caracterizando-se como usuário ativo do sistema.

Primeiramente, o *analista* inicializa o *software* através de uma conexão com *login* e senha de acesso individual. Em seguida, a partir da avaliação do(s) *decisor(es)*, ele insere no sistema os valores das matrizes de comparação pareada [para tanto, são usadas planilhas eletrônicas com a extensão ‘xls’ ou ‘xlsx’]. Posteriormente, o *analista* estabelece a estrutura hierárquica do *modelo de decisão* [ou *modelo de avaliação*] a partir do modelo conceitual do problema em análise [considerando-se os vários critérios, subcritérios e alternativas]. A partir de então, dá-se início ao processamento computacional FEAHP, que consiste em: *fuzzificar as matrizes de comparação pareada; calcular o valor de extensão sintética; calcular o grau de possibilidade; definir o grau de possibilidade fuzzy convexo; normalizar os vetores de peso; e gerar e visualizar relatórios*. Finalmente, os relatórios com o *resultado geral do processo de decisão* [ou *resultado geral do processo de avaliação*] são disponibilizados ao(s) *decisor(es)*.

¹⁰ *Unified Modeling Language* (UML) [Linguagem de Modelagem Unificada] é “uma linguagem-padrão para descrever/documentar projeto de *software*. A UML pode ser usada para visualizar, especificar, construir e documentar os artefatos de um sistema de *software-intensivo*” (PRESSMAN, 2011, p. 727).

Figura 10 - Diagrama UML do sistema Fuzzy AHP [*software HAZE*]

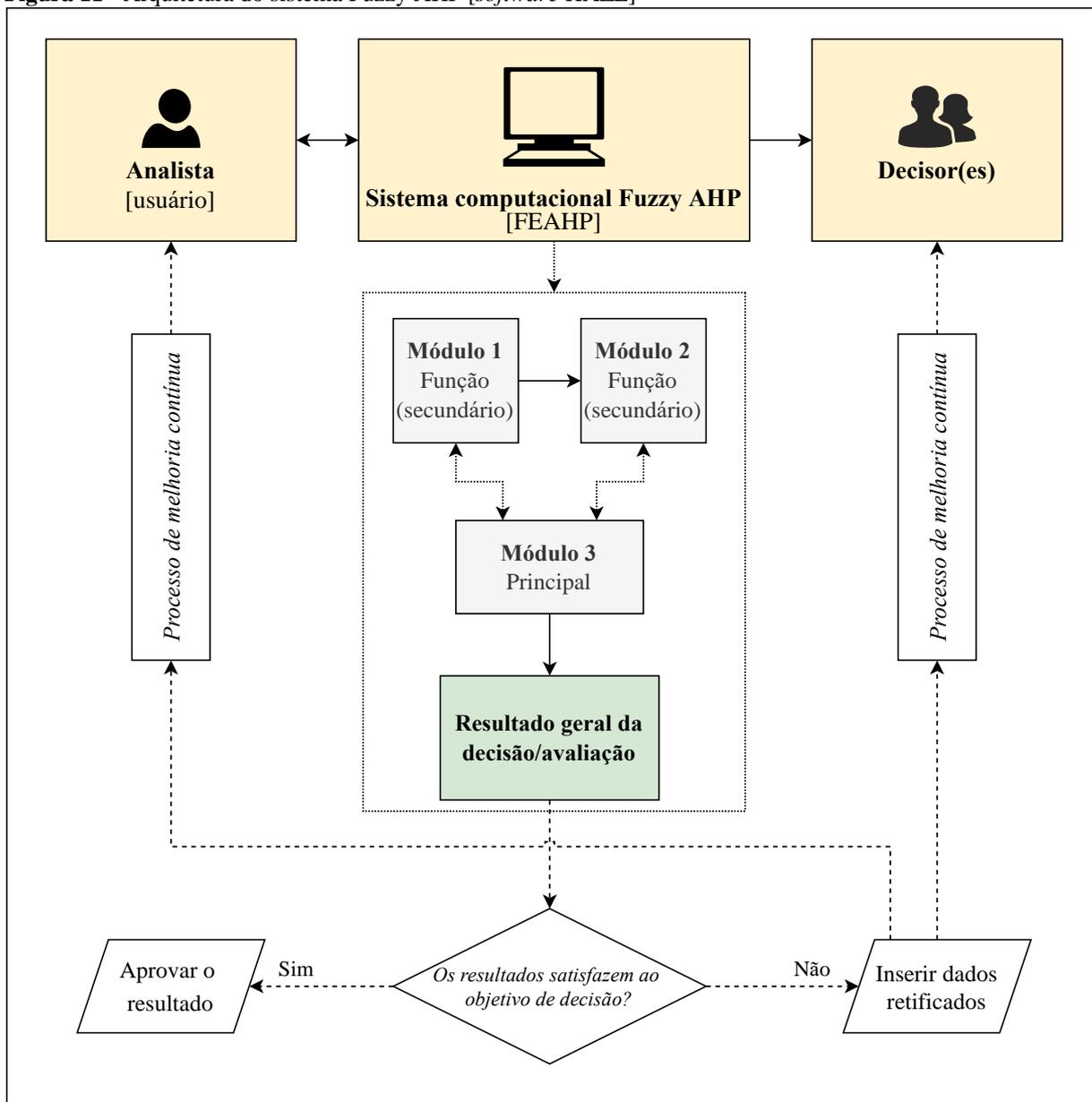


Fonte: Autoria própria (2021).

A arquitetura do sistema Fuzzy AHP [*software HAZE*] é composta por três módulos dinâmicos, interativos e interdependentes, como mostra a Figura 11. Os *módulos 1* e *2* representam códigos de programação chamados de ‘função’ e o *módulo 3* corresponde ao ‘programa principal’. Na execução do sistema, os *módulos 1* e *2* são acionados pelo *módulo 3*. O *módulo 1* converte as matrizes de comparação pareada do(s) *decisor(es)* e aplica o método de ‘Análise de Extensão Fuzzy’ para cada nível hierárquico do *problema de decisão* [ou *problema de avaliação*]. No *módulo 2*, os resultados do *módulo 1* são estruturados em uma

hierarquia geral do *problema de decisão* [ou *avaliação*]. Para tanto, o *módulo 2* executa diversas operações matemáticas que integram os resultados gerais do *problema de decisão* [ou *avaliação*]. O *módulo 3* fornece a interface de comunicação do sistema com o *analista* [usuário]; inicialmente, ele é alimentado com informações reais do *problema de decisão* [ou *avaliação*], isto é, há a inserção da quantidade de critérios, subcritérios e alternativas; depois disso, ele reúne todos os valores obtidos nos *módulos 1* e *2* e calcula o valor final da ‘Análise de Extensão Fuzzy’, apresentando os resultados em tabelas e gráficos. A interação dinâmica entre os três módulos do sistema fornece como saída principal o *resultado geral do processo de decisão* [ou *resultado geral do processo de avaliação*].

Figura 11 - Arquitetura do sistema Fuzzy AHP [software HAZE]



Fonte: Autoria própria (2021).

Se necessário, os resultados produzidos pela ferramenta computacional podem ser aperfeiçoados para melhor atender ao *objetivo geral da decisão* [ou *avaliação*]; neste caso, a opinião do(s) *decisor(es)* sobre a ‘identificação dos principais critérios e subcritérios’, a ‘estruturação do problema de decisão/avaliação’ e a ‘análise comparativa pareada’ pode ser retificada e, conseqüentemente, reprocessada pelo sistema em um mecanismo de melhoria contínua. Em suma, o sistema computacional Fuzzy AHP [*software HAZE*] é capaz de modelar a ‘Análise de Extensão Fuzzy’ de qualquer problema de decisão multicritério, independentemente do número de variáveis. No Apêndice A, são mostradas, como exemplo, algumas partes dos códigos de programação, em linguagem MATLAB®, dos três módulos da solução computacional desenvolvida.

Finalmente, a seguir é detalhado o último **procedimento técnico** adotado nesta tese: o *estudo de casos*.

2.3 ESTUDO DE CASOS

Cada vez mais, o *estudo de caso* como método pesquisa tem sido utilizado nas áreas de Engenharia de Produção, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Gestão de Operações e Estudos Organizacionais (CAUCHIK-MIGUEL; SOUSA, 2018; GANGA, 2012; REINER, 2005; YIN, 2014). Normalmente, o propósito do *estudo de caso* é promover tanto a construção, teste e ampliação de teorias, quanto a exploração e melhor compreensão de um fenômeno em seu contexto real.

Segundo Yin (2014), o *estudo de caso* é uma pesquisa empírica, baseada em evidências qualitativas e quantitativas que investigam um fenômeno contemporâneo inserido no contexto de vida real, especialmente, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidas. A pesquisa baseada em casos possibilita uma boa compreensão da natureza e complexidade do fenômeno com um todo. Para Ganga (2012), o *estudo de caso* pode ser enquadrado de acordo com os propósitos de pesquisa em *exploratório*, *descritivo* e *explicativo*. Nesta tese, se desenvolve o *estudo de caso descritivo*, pois busca-se descrever intervenções e o contexto de vida em que elas ocorrem de modo a ilustrar determinados tópicos relacionados com decisão e avaliação de riscos.

A pesquisa em um *estudo de caso* depara-se com condições técnicas únicas, em que haverá mais variáveis de interesse do que pontos de dados e, como resultado, deverá basear-se

em múltiplas fontes de evidências (YIN, 2014). Este mecanismo é denominado *triangulação* de métodos e técnicas de coleta de dados, tal como visto previamente na *abordagem do problema* de pesquisa [seções iniciais deste capítulo]. De acordo com Yin (2014), a utilização de múltiplas fontes de evidência em um *estudo de caso* permitirá que a pesquisa alcance critérios de qualidade, tais como *validade do construto*, *validade interna*, *validade externa* e *confiabilidade*. No desenvolvimento desta pesquisa, especial atenção é dada aos critérios de *validade dos construtos* [identificação de medidas adequadas para os conceitos sob estudo], *validade externa* [concepção de características e ligações importantes para construção/ampliação da teoria do campo em análise] e *confiabilidade* [possibilidade de repetição dos procedimentos de coleta de dados para alcance dos mesmos resultados].

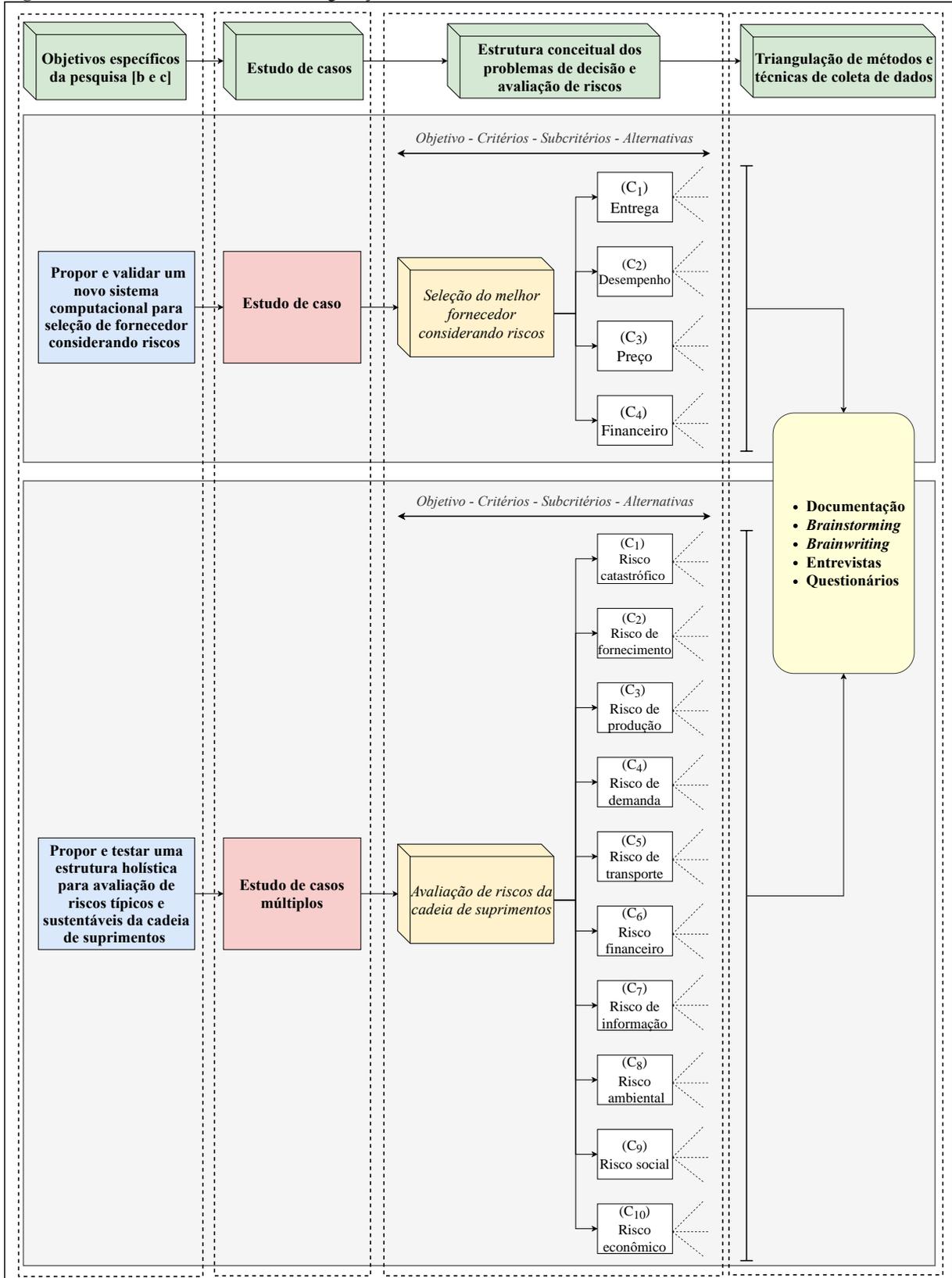
Quanto à quantidade de casos, os *estudos de casos* podem ser classificados em *casos únicos*, *casos múltiplos*, *enfoque incorporado* e *enfoque holístico* (YIN, 2018). Como discutido anteriormente, para o alcance dos objetivos da pesquisa realiza-se o *estudo de caso único* [com uma empresa de E&P de petróleo e gás natural] e o *estudo de casos múltiplos* [com dez empresas de E&P de petróleo e gás natural], em duas fases distintas e complementares da investigação. No *estudo de caso único*, busca-se ‘propor e validar um novo sistema computacional para seleção de fornecedor considerando riscos baseado no método Fuzzy AHP [...]’. No *estudo de casos múltiplos*, busca-se ‘propor e testar sistemicamente uma estrutura holística para avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos com suporte computacional do método Fuzzy AHP [...]’.

Seuring (2005) afirma que o *estudo de caso* é um método que permite uma flexível coleta de dados, apropriada para analisar cadeias de suprimentos e questões gerenciais nelas contidas. Embora a pesquisa em Gestão da Cadeia de Suprimentos imponha dificuldades adicionais, ela também traz a chance de validar os dados coletados por meio da *triangulação* de informações obtidas da cadeia de suprimentos. Neste sentido, múltiplas fontes de evidências são apuradas para a concretização de uma *abordagem de pesquisa combinada* [quantitativa e qualitativa], como mostra a Figura 12.

No *estudo de casos* são utilizados os seguintes métodos e técnicas de coleta de dados: documentação, *brainstorming*, *brainwriting*, entrevistas e questionários. A documentação refere-se ao conjunto de informações institucionais das empresas estudadas disponível em *websites* corporativos, portais de órgãos governamentais e associações empresariais do setor de petróleo e gás natural, relatórios de gestão corporativa de acesso público, etc. As sessões de *brainstorming* e *brainwriting* buscam captar o maior número de ideias, percepções e soluções

criativas para o problema em análise junto aos decisores das empresas participantes (WILSON, 2013).

Figura 12 - Estudo de casos com triangulação de métodos e técnicas de coleta de dados



Fonte: Autoria própria (2021).

As entrevistas [semiestruturadas] focam diretamente os tópicos dos *estudos de casos*, fornecendo inferências e explicações. Para tanto, utiliza-se a ferramenta Google Forms®, Google LLC, para coletar as respostas via Internet. Essas entrevistas são fundamentais para a ‘identificação dos principais riscos das empresas pesquisadas’. No Apêndice B são mostradas partes do formulário da entrevista realizada no *estudo de casos múltiplos*.

Finalmente, os questionários com variáveis linguísticas são utilizados para a ‘avaliação comparativa dos principais critérios [tipos de risco], subcritérios [fatores de risco] e alternativas [fornecedores ou graus de risco]’. Os questionários autoaplicáveis são desenvolvidos no MS Excel® [em ‘xls’/‘xlsx’], versão 16.28, Microsoft Corp., e enviados por *e-mail* aos respondentes. O Apêndice C mostra partes do questionário utilizado no *estudo de casos múltiplos*. Os quesitos avaliados nos questionários permitem o desenvolvimento da modelagem proposta e a interpretação dos resultados. A discussão detalhada do *estudo de casos* é tratada no Capítulo 3, seções 3.2 e 3.3, Artigos 2 e 3, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO: COLETÂNEA DE ARTIGOS AUTORAIS

3.1 ARTIGO 1 - ESTADO DA ARTE

3.1.1 Modelagem da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos: uma Revisão Sistemática da Rede de Literatura¹¹

Resumo: após a virada do milênio a literatura sobre a Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos (GRCS) [em inglês *Supply Chain Risk Management (SCRM)*] atraiu atenção crescente de pesquisadores e profissionais, evoluindo de um tópico emergente para um campo de pesquisa consistente. Embora modelos matemáticos [e/ou quantitativos] e computacionais para gestão de risco tenham recebido relativa atenção nesse campo, falta uma análise sistemática da rede de literatura que permita compreender o fluxo de pesquisa ao longo do tempo. Neste artigo é apresentada uma revisão sistemática da literatura sobre a Modelagem da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos (MGRCS) [em inglês *Supply Chain Risk Management Modeling (SCRMM)*] em um período de 20 anos [1999-2019]. São coletados 566 artigos publicados na base de dados Scopus, dos quais 120 são revisados. Busca-se analisar o desempenho do campo, mapear os estudos mais influentes, as áreas generativas e evolutivas de pesquisa e fornecer direções de pesquisa futura. Utiliza-se métodos e ferramentas bibliométricas de análise de rede de citação que permitem compreender o desenvolvimento dinâmico do fluxo de pesquisa do campo. Os resultados obtidos sugerem que cinco áreas de pesquisa generativa fornecem os conhecimentos fundamentais para quatro áreas de pesquisa evolutiva. A interpretação das lacunas e tendências dessas áreas permite estabelecer direções de pesquisa futura na qual há duas questões culminantes: adotar a abordagem holística da GRCS e desenvolver modelos de risco normativos e prescritivos. A abordagem holística é um facilitar de mais pesquisa sobre fatores-chave como integração de processos, *design*, gerenciamento da informação, visibilidade e coordenação de risco. Esses fatores devem impactar diretamente as necessidades reais da indústria, os tomadores de decisão e a sustentabilidade. Os modelos de risco com tipologia normativa e prescritiva evoluída [como modelos gráficos; modelos multiproduto, multiperíodo e multiobjetivo; modelos de simulação e otimização computacional; e modelos de aversão ao risco] devem considerar tanto as estratégias quanto o desempenho real da cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos; Modelo Quantitativo; Modelo Computacional; Revisão Sistemática de Literatura; Análise de Rede de Citação.

¹¹ FAGUNDES, M.V.C. *et al.* Supply chain risk management modelling: a systematic literature network analysis review. *IMA Journal of Management Mathematics*, v. 31, n. 4, p. 387-416, 2020b. DOI: 10.1093/imaman/dpaa019

3.1.1.1 Introdução

Há um consenso tanto na literatura quanto na prática profissional de que as cadeias de suprimentos globais estão cada vez mais complexas e vulneráveis a interrupções que podem causar consequências graves para a sociedade (ASGARI *et al.*, 2016; CRAIGHEAD *et al.*, 2007; KLEINDORFER; SAAD, 2005; TANG, 2006;). Na maioria dos casos, as interrupções da cadeia de suprimentos são devido a perigos naturais, riscos causados pelo homem ou fontes diversas de incertezas (ESMAEILIKIA *et al.*, 2016; HECKMANN; COMES; NICKEL, 2015; KLEINDORFER; SAAD, 2005).

No início deste milênio, a questão do risco da cadeia de suprimentos foi destacada, inicialmente por temores relacionados a possíveis interrupções do muito divulgado "bug do milênio". O Y2K passou sem grandes incidentes, embora as perturbações causadas pelo terremoto de Taiwan em 1999, pela febre aftosa no Reino Unido em 2001 e pelos ataques terroristas do 11 de setembro nos EUA tenham sublinhado a vulnerabilidade das modernas cadeias de suprimentos (JÜTTNER; PECK; CHRISTOPHER, 2003; SHEFFI, 2001). Nas duas décadas posteriores, vários exemplos mostram as dramáticas consequências e dependências entre entidades da cadeia de suprimentos e sua vulnerabilidade a gatilhos disruptivos. De acordo com Stecke e Kumar (2009), o risco de interrupções na cadeia de suprimentos aumentou nos últimos anos devido ao progresso da globalização, aumento da terceirização e do foco intensificado na eficiência e no *lean management*.

Conforme o 15.º *The Global Risks Report* do *World Economic Forum* cerca de 44% dos decisores e líderes mundiais entrevistados pensam que “a erosão das cadeias globais de suprimentos” é um risco econômico que aumentará em 2020 em comparação a 2019. Enquanto este artigo é escrito, o mundo vivencia uma pandemia sem precedentes provocada pelo surto do Coronavírus SARS-CoV-2 [COVID-19]. Entre fevereiro e março de 2020 o *Institute for Supply Management* (ISM) conduziu uma pesquisa com mais de 600 profissionais para entender o impacto do surto de coronavírus na cadeia de suprimentos. Quase 75% das empresas estavam vendo interrupções de capacidade em suas cadeias de suprimentos como resultado de restrições de transporte relacionadas ao COVID-19, sobrecarregando a economia global. Como resultado dessas interrupções, uma em cada seis empresas relataram ajustar as metas de receita para baixo devido a pandemia.

Apesar do aumento da preocupação com os riscos da cadeia de suprimentos poucas empresas tomam medidas efetivas para gerenciá-los (FAHIMNIA *et al.*, 2015). Esta lacuna torna a GRCS uma área atraente de pesquisa e prática profissional. De acordo com Christopher *et al.* (2003), a GRCS é definida como a identificação de possíveis fontes de risco e a implementação de estratégias apropriadas por meio de uma abordagem coordenada para reduzir a vulnerabilidade da cadeia de suprimentos. Tang (2006) afirma que a GRCS resulta da coordenação ou colaboração entre parceiros da cadeia de suprimentos para garantir rentabilidade e continuidade, englobando duas dimensões: riscos operacionais e de violação; e mitigação de riscos. Peck (2006) define que a GRCS envolve todos os riscos ao fluxo de informações, materiais e produtos, desde os fornecedores à entrega do produto ao usuário final.

Numa perspectiva evolutiva, muitos estudiosos definem que o processo de GRCS é uma estrutura que envolve a *identificação, avaliação, mitigação e controle* de possíveis interrupções na cadeia de suprimentos e seus impactos negativos (AQLAN; LAM, 2016; BUGERT; LASCH, 2018; FAISAL; BANWET; SHANKAR, 2007; FAN; STEVENSON, 2018; HO *et al.*, 2015; WAGNER; BODE, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2019). Sodhi, Son e Tang (2012) estabelecem que é fundamentalmente difícil classificar pesquisas sobre GRCS, porque diferentes pesquisadores usaram diferentes definições, interpretações e sinônimos para explicar o campo. Essa natureza abrangente e multidisciplinar da GRCS pode ser útil para os pesquisadores explorarem mais oportunidades de pesquisa.

O Quadro 2 apresenta as características de 42 artigos de revisão sobre a GRCS, e sobre a MGRCS em particular, identificados nas duas últimas décadas. Ele mostra o número de artigos revisados, os anos analisados, a metodologia, o tipo de revisão e escopo de classificação. A maior parte das revisões do campo são narrativas. Uma revisão sistemática da literatura é preferível à narrativa, pois é replicável, científica, baseada em evidências e transparente (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003). Apenas cinco revisões sistemáticas de literatura do campo são análises de rede de citação (COLICCHIA; STROZZI, 2012; FAHIMNIA *et al.*, 2015; GHADGE; DANI; KALAWSKY, 2012; RAJAGOPAL; SHANMUGAM; GOH, 2017; TANG; MUSA, 2011). A rede de citação é uma forma de rede social na qual autores e artigos podem ser representados como nós e suas interações mútuas podem ser modeladas como arestas. A análise de rede de citação possibilita identificar tradições e paradigmas de pesquisa para construção histórica do pensamento científico (COLICCHIA; STROZZI, 2012; ZUPIC; CATER, 2014).

Quadro 2 - Visão geral das revisões de literatura sobre a GRCS

N.	Autor(es)	N. de artigos revisados	Anos analisados	Metodologia	Tipo de revisão						Classificação	
					Revisão narrativa	Revisão sistemática	Análise de rede de citação				Processo de GRCS	MGRCS
							Análise de coocorrência	Análise de citação	Análise de cocitação	Acoplamento bibliográfico		
1	Oliveira <i>et al.</i> (2019)	36	2000-2017	Qualitativa		✓					✓	✓
2	Bak (2018)	114	1990-2015	Qualitativa		✓						✓
3	Behzadi <i>et al.</i> (2018)	42	1993-2015	Qualitativa	✓							✓
4	Bugert e Lasch (2018)	57	2001-2017	Qualitativa/quantitativa		✓					✓	✓
5	Fan e Stevenson (2018)	354	2000-2016	Qualitativa/quantitativa		✓					✓	✓
6	Son (2018)	133	2005-2017	Qualitativa		✓						✓
7	Oliveira, Espindola e Marins (2018)	248	2004-2015	Qualitativa/quantitativa		✓					✓	
8	Prakash <i>et al.</i> (2017)	343	2004-2014	Qualitativa		✓					✓	✓
9	Rajagopal, Shanmugam e Goh (2017)	126	2005-2016	Qualitativa/quantitativa		✓	✓					✓
10	Zhu, Krikke e Caniëls (2017)	442	1998-2015	Qualitativa/quantitativa		✓					✓	
11	Kilubi (2016)	86	2000-2015	Qualitativa		✓					✓	
12	Septiani <i>et al.</i> (2016)	79	2004-2015	Qualitativa		✓					✓	✓
13	Snyder <i>et al.</i> (2016)	180	**	Qualitativa	✓							✓
14	Fahimnia <i>et al.</i> (2015)	489	1978-2013	Qualitativa/quantitativa		✓		✓	✓		✓	✓
15	Heckmann, Comes e Nickel (2015)	33	**	Qualitativa/quantitativa	✓						✓	✓
16	Ho <i>et al.</i> (2015)	224	2003-2013	Qualitativa	✓						✓	✓
17	Kilubi e Haasis (2015)	80	2000-2015	Qualitativa		✓						
18	Rangel, Oliveira e Leite (2015)	16	2002-2010	Qualitativa	✓						✓	
19	Bandaly <i>et al.</i> (2013)	*	**	Qualitativa	✓							
20	Chiu e Choi (2013)	52	**	Qualitativa	✓							
21	Tomas e Alcantara (2013)	103	2000-2012	Qualitativa		✓					✓	✓
22	Aloini <i>et al.</i> (2012)	140	2000-2011	Qualitativa	✓						✓	
23	Colicchia e Strozzi (2012)	55	1994-2010	Qualitativa/quantitativa		✓		✓			✓	
24	Ghadge, Dani e Kalawsky (2012)	120	2000-2010	Qualitativa/quantitativa		✓	✓				✓	✓
25	Simangunsong, Hendry e Stevenson (2012)	*	**	Qualitativa	✓						✓	
26	Singhal, Agarwal e Mittal (2011)	114	1996-2010	Qualitativa	✓						✓	✓
27	Tang e Musa (2011)	138	1995-2009	Qualitativa/quantitativa		✓		✓	✓		✓	✓
28	Klibi, Martel e Guitouni (2010)	*	**	Qualitativa	✓						✓	✓
29	Olson e Wu (2010)	*	**	Qualitativa	✓						✓	
30	Pfohl, Köhler e Thomas (2010)	*	1998-2008	Qualitativa	✓						✓	
31	Natarajarathinam, Capar e Narayanan (2009)	118	** -2008	Qualitativa	✓						✓	✓

32	Peidro <i>et al.</i> (2009)	103	1988-2007	Qualitativa	✓						✓	✓
33	Rao e Goldsby (2009)	55	2000-2008	Qualitativa	✓						✓	
34	Vanany, Zailani e Pujawan (2009)	82	2000-2007	Qualitativa	✓							✓
35	Manuj e Mentzer (2008)	*	**	Qualitativa	✓						✓	
36	Williams, Lueg e LeMay (2008)	32	2001-2008	Qualitativa	✓						✓	
37	Khan e Burnes (2007)	*	**	Qualitativa	✓						✓	
38	Tang (2006)	200	1964-2005	Qualitativa	✓							✓
39	Kleindorfer e Saad (2005)	*	**	Qualitativa	✓						✓	
40	Finch (2004)	*	1995-2001	Qualitativa	✓						✓	
41	Shi (2004)	*	**	Qualitativa	✓						✓	
42	Jüttner, Peck e Christopher (2003)	*	**	Qualitativa	✓						✓	
-	Este artigo	120	1999-2019	Qualitativa/quantitativa		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

* Não foi especificado o número de artigos revisados. ** O período não foi especificado ou identificado.

Fonte: Autoria própria (2020).

O escopo de classificação da maioria das revisões se concentra em processos individuais ou integrados da GRCS, com focos específicos em uma ou mais etapas, como *identificação de riscos*, *avaliação de riscos*, *mitigação de riscos* e *monitoramento/controle de riscos*. Além disso, metade das revisões enfoca os modelos usados no campo. Contudo, identifica-se que apenas quatro trabalhos abordam a MGRCS através de revisão sistemática de literatura e análise de rede de citação. Tang e Musa (2011) usam a análise de citação e cocitação para divulgar os modelos quantitativos da GRCS entre 1995 e 2009. Ghadge, Dani e Kalawsky (2012) usam análise de coocorrência de palavras em artigos para examinar os métodos qualitativos, quantitativos e mistos do campo entre 2000 e 2010. Fahimnia *et al.* (2015) apresentam uma revisão dos modelos quantitativos e analíticos do campo entre 1978 a 2013 usando análise de citação e cocitação. Rajagopal, Shanmugam e Goh (2017) fazem uma revisão das abordagens de modelagem, as medidas de risco e a atitude de risco com base na análise de coocorrência de palavras em artigos do campo entre 2005 e 2016.

As principais lacunas dessas revisões são: 1. a falta de uma classificação das áreas generativas de pesquisa que forneçam ao campo conhecimentos fundamentais; 2. a ausência de uma classificação das áreas evolutivas de pesquisa que forneçam ao campo conhecimentos para o desenvolvimento de mais pesquisa; e 3. a falta de uma análise sistêmica da rede de literatura que ofereça ao campo a compreensão dinâmica de pesquisas passadas, atuais e futuras. Portanto, um estudo objetivo, atualizado e abrangente sobre o fluxo de pesquisa da MGRCS é de importância teórica e prática, pois a natureza normativa e prescritiva desse campo promove o desenvolvimento de ferramentas de tomada de decisão e sistemas de suporte que são críticos na gestão de riscos.

Para atender as referidas lacunas de pesquisa, apresenta-se esta revisão sistemática da literatura da MGRCS em um período de 20 anos. São coletados 566 artigos publicados entre 1999 e 2019 na base de dados Scopus, dos quais 120 são revisados. Especificamente, busca-se: (1) analisar o desempenho do campo; (2) mapear os estudos mais influentes, as áreas generativas de pesquisa, e as áreas evolutivas de pesquisa; e (3) fornecer direções de pesquisa futura. É utilizada a técnica de análise de rede de citação para construir medidas de influência e similaridade através de análise de citação, análise de cocitação e análise de acoplamento bibliográfico (ZUPIC; CATER, 2014). A análise de rede de citação de literatura permite ampliar o conhecimento sistêmico e aprofundado da MGRCS, fornecendo informações adicionais para pesquisadores e gerentes.

Na próxima seção deste artigo é apresentado o *método da revisão*. Na seção 3.1.1.3 é apresentada a *análise sistemática da rede de literatura*. Os resultados e direções de pesquisa futura são discutidos na seção 3.1.1.4. Finalmente, na seção 3.1.1.5 são apresentadas as conclusões, recomendações e limitações da pesquisa.

3.1.1.2 Método da revisão

Segundo Tranfield, Denyer e Smart (2003) a revisão sistemática da literatura permite ao pesquisador avaliar uma área do conhecimento e identificar possíveis lacunas na pesquisa. Cobo *et al.* (2011) afirmam que uma revisão sistemática de literatura associada a métodos bibliométricos tem dois usos principais: análise de desempenho e mapeamento científico. A análise de desempenho avalia a evolução da pesquisa, publicações, autores, afiliações, instituições, etc. O mapeamento científico revela aspectos estruturais e dinâmicos da pesquisa científica sem viés subjetivo.

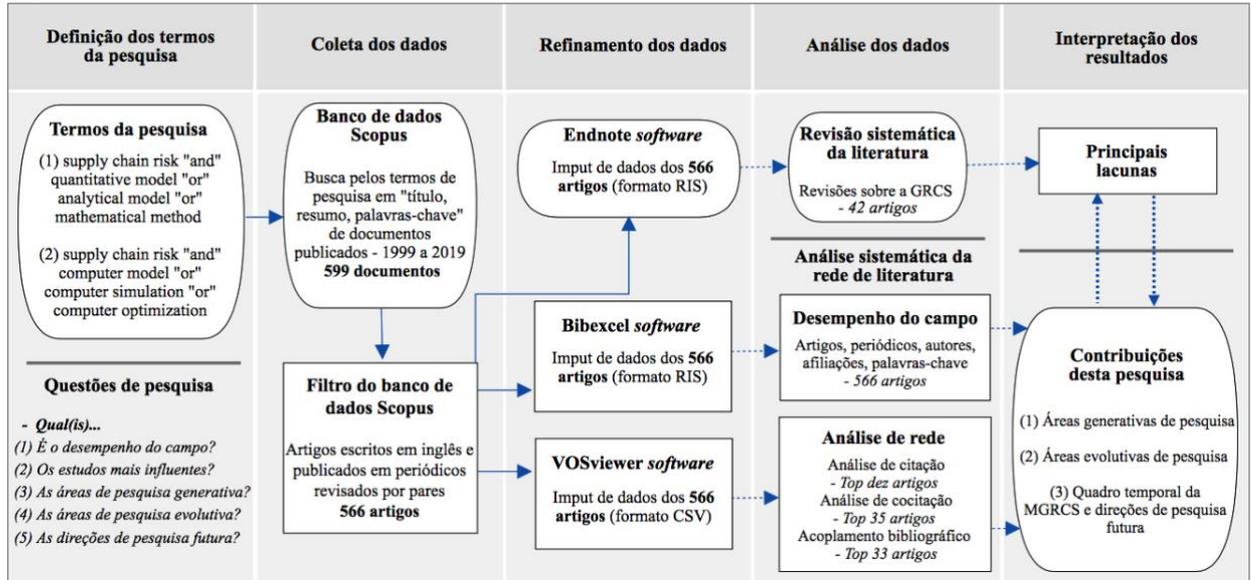
Para Zupic e Cater (2015) existem cinco principais métodos bibliométricos: análise de citação, análise de cocitação, acoplamento bibliográfico, análise de coautor e coocorrência de palavras-chave. Os três primeiros usam dados de citação como medidas de influência e similaridade e são frequentemente usados em análise de rede de citação. Assim, esses métodos são adotados na análise de rede de literatura deste artigo considerando-se os seus méritos e as suas aplicabilidades. Rowley e Slack (2004) propõem uma metodologia de cinco etapas para realizar uma revisão sistemática da literatura, que inclui digitalizar documentos, fazer anotações, estruturar a revisão bibliográfica, redigir a revisão bibliográfica e construir a bibliografia. Neste artigo, se utiliza um processo semelhante como mostra a Figura 13 e que é descrito a seguir.

3.1.1.2.1 Definição dos termos da pesquisa

São pesquisadas duas combinações de termos: (1) “*supply chain risk*” and “*quantitative model*” or “*analytical model*” or “*mathematical method*”; e (2) “*supply chain risk*” and “*computer model*” or “*computer simulation*” or “*computer optimization*”. Essas palavras-chave são escolhidas para capturar uma parte importante do estudo da MGRCS e responder as

seguintes questões de pesquisa: (1) qual é o desempenho do campo de pesquisa? (2) quais são os estudos mais influentes? (3) quais são as áreas de pesquisa generativa? (4) quais são as áreas de pesquisa evolutiva? (5) quais são as direções de pesquisa futura?

Figura 13 - Método da revisão



Fonte: adaptado de Rowley e Slack (2004).

3.1.1.2.2 Coleta dos dados

Os termos de pesquisa são procurados em "título, resumo e palavras-chave" de documentos publicados entre 1999 e 2019 no banco de dados Scopus. O Scopus é o maior banco de dados de resumos e citações da literatura de pesquisa revisada por pares. Segundo Chicksand *et al.* (2012), o Scopus tem sido utilizado e recomendado como uma boa fonte de artigos sobre cadeias de suprimentos. Uma das razões para se excluir documentos anteriores a 1999 é que o interesse acadêmico na GRCS só ganhou impulso após a virada do milênio. Além disso, as publicações que atendem aos critérios de seleção anteriores a 1999 são muito limitadas. Nesta etapa da coleta inicial, se obtém 599 documentos. Após filtrar os artigos escritos em inglês e publicados em periódicos revisados por pares, obtém-se 566 *papers*, dos quais se armazena os dados bibliográficos nos formatos RIS e CSV.

3.1.1.2.3 Refinamento dos dados

Nesta etapa, insere-se o conjunto de dados [formatos RIS e CSV] dos 566 artigos em três *softwares* bibliométricos: o *software* Endnote (ENDNOTE WEB, 2020), o *software* Bibexcel (PERSSON; DANELL; SCHNEIDER, 2009) e o *software* VOSviewer (VAN ECK; WALTMAN, 2017). O Endnote é utilizado para selecionar e analisar as revisões anteriores de literatura da GRCS. O Bibexcel e o VOSviewer são usados para análise sistemática da rede de literatura da MGRCS.

3.1.1.2.4 Análise dos dados

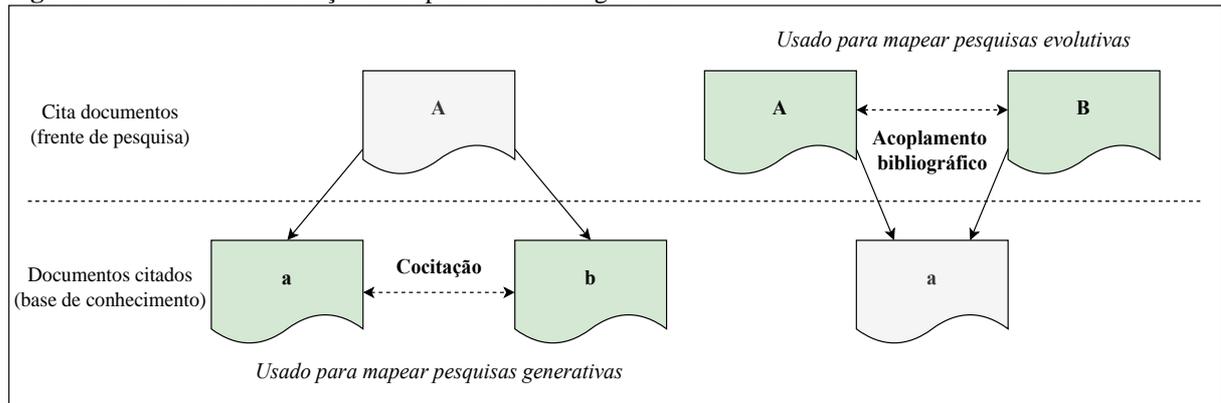
Primeiramente, seleciona-se e revisa-se 42 artigos usando o *software* Endnote. Essa revisão é importante para compreender o campo geral de estudo da GRCS, e em particular da MGRCS, além de identificar as lacunas de pesquisa que motivam a elaboração deste artigo. Segundo, analisa-se o desempenho do campo [publicações, periódicos, autores, afiliações e palavras-chave] usando o *software* Bibexcel. O Bibexcel é escolhido devido à sua flexibilidade e capacidade de lidar com grande quantidade de dados, fornecendo estatísticas diversas.

Terceiro, analisa-se a rede de literatura da MGRCS usando o *software* VOSviewer. Opta-se pelo VOSviewer em detrimento de outros *softwares* como o Gephi (BASTIAN; HEYMANN; JACOMY, 2009) e o Pajek (BATAGELJ; MRVAR, 2011) devido à sua capacidade de mapear dados bibliográficos com opções robustas de visualização e análise. São realizadas a análise de citação, cocitação e acoplamento bibliográfico. A análise de citação é o método mais comum para determinar a popularidade de um artigo a partir do número de vezes que ele é citado por outros artigos (CRONIN; DING, 2011). A análise de cocitação é definida como a frequência com a qual duas referências são citadas juntas (SMALL, 1973). O acoplamento bibliográfico usa o número de referências compartilhadas por dois documentos como uma medida da semelhança entre eles (ZUPIC; CATER, 2014).

O acoplamento bibliográfico é o oposto da cocitação, ou seja, é uma relação fixa e permanente, porque depende das referências contidas nos documentos acoplados, enquanto a cocitação varia ao longo do tempo (COBO *et al.*, 2011). Segundo Small (1999), a cocitação é a melhor opção para mapear a base de conhecimento [estudos generativos], enquanto o

acoplamento bibliográfico é recomendado para mapear a frente de pesquisa [estudos evolutivos]. A Figura 14 mostra a diferença entre a análise de cocitação e o acoplamento bibliográfico.

Figura 14 - Análise de cocitação e acoplamento bibliográfico



Fonte: adaptado de Zupic e Cater (2014).

Portanto, são utilizadas a análise de citação, a análise de cocitação e o acoplamento bibliográfico para mapear os estudos mais influentes [*top* dez artigos], as áreas generativas de pesquisa [*top* 35 artigos] e as áreas evolutivas de pesquisa [*top* 33 artigos], respectivamente, fornecendo direções de pesquisa futura.

3.1.1.2.5 Interpretação dos resultados

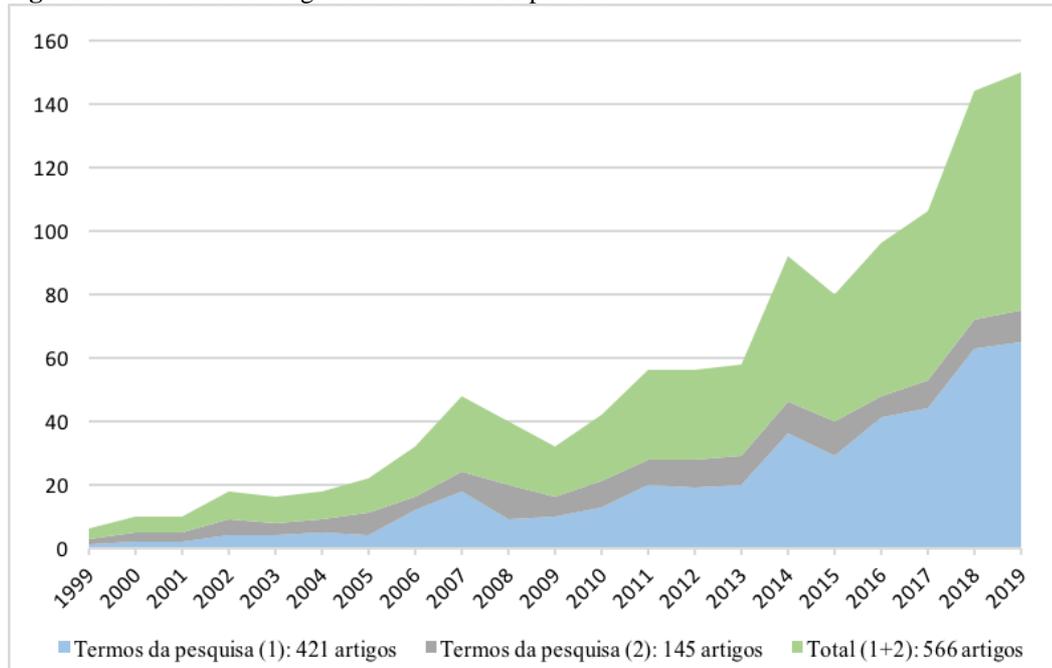
A interpretação dos resultados permite a identificação de lacunas e tendências de pesquisa em áreas generativas e evolutivas, respectivamente, o que possibilita fornecer um *quadro temporal* da MGRCS, além de direções de pesquisa futura.

3.1.1.3 Análise sistemática da rede de literatura

3.1.1.3.1 Desempenho do campo

Com o auxílio do *software* Bibexcel analisa-se a evolução das publicações, os principais periódicos e autores, afiliações e coocorrência de palavras-chave. A Figura 15 ilustra o crescimento do campo entre 1999 e 2019.

Figura 15 - Número de artigos sobre a MGRCS por ano



Fonte: Autoria própria (2021).

Os 566 artigos do campo estão publicados em 316 periódicos. Os dez principais periódicos publicaram quase um quarto desses artigos [n=131] e possuem 6.758 citações: 1. *International Journal of Production Economics* [n=35; 2.783 citações], 2. *European Journal of Operational Research* [n=17; 1.538 citações], 3. *International Journal of Production Research* [n=16; 736 citações], 4. *Supply Chain Management* [n=12; 617 citações], 5. *Journal of Cleaner Production* [n=11; 215 citações], 6. *Computers and Industrial Engineering* [n=10; 248 citações], 7. *Water Research* [n=8; 174 citações]; *Sustainability* [n=8; 29 citações], 9. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [n=7; 215 citações], e 10. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* [n=7; 203 citações]. Em geral, os periódicos mais prolíficos são também os mais populares em citação.

Observa-se que os 566 artigos foram escritos por 1.664 autores. Apenas 10% desses autores contribuem em mais de um artigo, isto é, 1.498 autores contribuem em apenas um único artigo. Os 10 autores da área com o maior número de publicações são: Choi, T.-M., e Liu, Z. [n=7]; Wang, Y. [n=6]; Chen, J. [n=5]; Wang, J., Wang, X., Talluri, S., Zhang, J., Brandenburg,

M., e Kumar, S. [n=4 cada]. Os 10 autores com o maior número de citações são: Tang, C.S. [n=1.291; $h\text{-index}^{12}=38$]; Chan, F.T.S. [n=1.139; $h\text{-index}=59$]; Kumar, N. [n=1.139; $h\text{-index}=12$]; Nurmaya, M.S. [n=418; $h\text{-index}=12$]; Tang, O. [n=418; $h\text{-index}=26$]; Tiwari, M.K. [n=406; $h\text{-index}=48$]; Choy, K.L. [n=382; $h\text{-index}=32$]; Lau, H.C.W. [n=374; $h\text{-index}=10$]; You, F. [n=340; $h\text{-index}=51$]; Choi, T.-M. [n=284; $h\text{-index}=42$]. O $h\text{-index}$ dos autores mais citados mostra que eles têm artigos com significativo impacto acadêmico, considerando, inclusive, pesquisas fora da área da MGRCS. Observa-se que apenas 1 autor (CHOI, T.-M.) dos autores com mais publicações também é um dos autores mais citados. Isto indica uma relação fraca entre a quantidade e a qualidade dos artigos dos autores com mais publicações.

Identifica-se que instituições de 82 países contribuem para a área. As principais contribuintes estão localizadas nos Estados Unidos [n=152 artigos], China [n=90] e Reino Unido [n=62]. Mas, regiões de todo o mundo têm pesquisadores atraídos pelo campo, como Iran [n=38], Índia [n=34], Austrália [n=32], Alemanha [n=27], Canadá [n=24], Hong Kong e Itália [n=23 cada].

Também se analisa a coocorrência de palavras-chave do campo. Palavras que frequentemente coocorrem em artigos têm conceitos intimamente relacionados (ZUPIC; CATER, 2014). O resultado da coocorrência de palavras é um conjunto de temas que representam o espaço conceitual e a identidade intelectual do campo (SIDOROVA *et al.*, 2008). As 20 palavras com maior coocorrência no (a) *índice geral de palavras-chave* e no (b) *índice de palavras-chave dos autores mais citados* são mostradas na Tabela 1.

Uma comparação dos *índices* (a) e (b) revela que há homogeneidade na coocorrência de palavras-chave. As palavras-chave incluem uma combinação de *supply chain*, *supply chain management*, *risk assessment*, *risk management*, *supply chain risk*, *decision-making*, *mathematical models*, *quantitative analysis*, *computer simulation* e *optimization*. Constata-se que as palavras mais populares no *índice geral* são também as palavras-chave de pesquisa reais usadas neste estudo. Algumas palavras-chave do *índice de autores mais citados* são conceitos, modelos e métodos específicos do campo, que são discutidos nas próximas seções deste artigo. Em geral, os indexadores de palavras-chave capturam bem aspectos relevantes da MGRCS.

¹² O $h\text{-index}$ ou *Hirsch-index* é o número de artigos com número de citação $\geq h$. É um complemento para outras métricas de desempenho de autores, pois não é influenciado por um único artigo altamente citado. O $h\text{-index}$ depende da área considerada e do tempo de publicação do trabalho (HIRSCH, 2005).

Tabela 1 - Top 20 palavras-chave

(a) Todas as palavras-chave	Frequência	% de 1486	(b) Palavras-chave autores	Frequência	% de 442
<i>Supply chain</i>	264	17,8	<i>Supply chain management</i>	88	19,9
<i>Supply chain management</i>	188	12,7	<i>Supply chain</i>	55	12,4
<i>Risk assessment</i>	155	10,4	<i>Risk management</i>	47	10,6
<i>Computer simulation</i>	123	8,3	<i>Simulation</i>	29	6,6
<i>Risk management</i>	117	7,9	<i>Supply chain risk management</i>	21	4,8
<i>Human</i>	90	6,1	<i>Risk</i>	20	4,5
<i>Decision-making</i>	78	5,2	<i>Supplier selection</i>	18	4,1
<i>Optimisation</i>	52	3,5	<i>Supply chain risk</i>	17	3,8
<i>Costs</i>	43	2,9	<i>Analytical hierarchy process</i>	17	3,8
<i>Mathematical models</i>	42	2,8	<i>Fuzzy logic</i>	16	3,6
<i>Inventory control</i>	40	2,7	<i>Risk assessment</i>	16	3,6
<i>Sensitivity analysis</i>	39	2,6	<i>Resilience</i>	15	3,4
<i>Quantitative analysis</i>	37	2,5	<i>Inventory management</i>	14	3,2
<i>Risk analysis</i>	37	2,5	<i>Optimisation</i>	14	3,2
<i>Nonhuman</i>	32	2,2	<i>Risk analysis</i>	13	2,9
<i>Controlled study</i>	31	2,1	<i>Uncertainty</i>	12	2,7
<i>Supply chain risk management</i>	30	2,0	<i>Sustainability</i>	10	2,3
<i>Risk perception</i>	30	2,0	<i>Network design</i>	7	1,6
<i>Sales</i>	30	2,0	<i>Supply chain coordination</i>	7	1,6
<i>Stochastic systems</i>	28	1,9	<i>Stochastic programming</i>	6	1,4

Fonte: Autoria própria (2020).

3.1.1.3.2 Análise de rede

3.1.1.3.2.1 Análise de citação

Utiliza-se a análise de citação direta para mapear os trabalhos mais influentes no campo. Para tanto, é criada uma rede de citação no *software* VOSviewer com os 566 artigos selecionados. Essa rede consiste em nós e arestas. Os nós representam os artigos e as bordas indicam relações entre pares de nós (VAN ECK; WALTMAN, 2014). O mapeamento de uma rede de citação no VOSviewer utiliza a técnica de agrupamento “VOS” [sigla em inglês que significa *Visualization of Similarities*; ou em português ‘Visualização de Similaridades’]. O VOSviewer localiza itens em um mapa minimizando uma função dependente de uma medida de similaridade (AS_{ij}) entre itens, definida como:

$$AS_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_i c_j} \quad (11)$$

onde C_{ij} é a medida de ocorrência dos itens i e j ; C_i e C_j são os números esperados de ocorrências dos itens i e j ; e as ocorrências de i e j são estatisticamente independentes (VAN

ECK; WALTMAN, 2017). Deste modo, os nós de uma rede de citação do VOSviewer são posicionados de forma que a distância entre eles indica o grau de similaridade. Redes direcionadas, por exemplo, redes baseadas em relacionamentos de citação direta, são tratadas como não direcionadas (VAN ECK; WALTMAN, 2014).

A análise de citação no VOSviewer revela que 189 documentos de 566 se citam. Os 10 principais artigos em número de citações locais são mostrados na Tabela 2. A “citação local” refere-se ao número de vezes que um artigo é citado por outros artigos dentro da rede de 566 nós; a “citação global” é a citação geral do artigo na base de dados Scopus, o que inclui citações de outros artigos de fora da rede.

Tabela 2 - Top dez artigos: medida de citação

Autor/ano	Periódico	Citação local ^a	Citação global ^b
Tang (2006)	International Journal of Production Economics	56	1118
Fahimnia <i>et al.</i> (2015)	European Journal of Operational Research	23	164
Tang e Musa (2011)	International Journal of Production Economics	22	418
Wu, Blackhurst e Chidambaram (2006)	Computer in Industry	16	250
Colicchia e Strozzi (2012)	Supply Chain Management	15	232
Baghalian, Rezapour e Farahani (2013)	European Journal of Operational Research	14	201
Chan e Kumar (2007)	Omega	12	765
Khan e Burnes (2007)	The International Journal of Logistics Management	10	189
Kull e Talluri (2008)	IEEE Transactions on Engineering Management	10	147
Ghadge <i>et al.</i> (2013)	Supply Chain Management	10	80

^aCitação local: citação dentro dos 566 artigos. ^bCitação global: citação geral na base de dados Scopus.

Fonte: Autoria própria (2020).

A incompatibilidade notável entre os valores de citação local e global na Tabela 2 indica que a MGRCS também recebe atenção de pesquisadores de outros campos, ou seja, há citações de artigos não capturados nesta pesquisa. O artigo mais influente é Tang (2006) com 1.118 citações globais e 56 citações locais. Neste trabalho, o autor revisa modelos quantitativos para GRCS, relacionando estratégias identificadas na literatura e práticas reais. Esse artigo tem significativa importância dentro e fora do campo.

Mas, em geral, pode ser visto que a ordem dos artigos baseada na citação local não necessariamente corresponde à ordem da citação global. Por exemplo, Chan e Kumar (2007) está em sétimo lugar com base no número de citações locais, mas tem a segunda maior contagem global de citações. Este resultado é interessante, pois as citações para Chan e Kumar (2007) parecem ser mais populares fora do domínio do campo. Uma das principais razões é que esses autores apresentam um método de decisão multicritério para seleção de fornecedores e a abordagem metodológica é altamente citada. De forma oposta, Fahimnia *et al.* (2015) está em

segundo lugar em citações locais, mas na oitava posição em citações globais. Esse artigo é uma revisão sistemática de literatura e, por isso, tem relação de citação direta com vários artigos da área. Algo semelhante também é visto em outras revisões de literatura como Tang e Musa (2011) e Colicchia e Strozzi (2012).

Nota-se ainda, que leva tempo para um artigo estabelecer citações; conseqüentemente, a maioria dos trabalhos mais citados na Tabela 2 tem pelo menos cinco anos de tempo de publicação.

3.1.1.3.2.2 Análise de cocitação

Utiliza-se a análise de cocitação para mapear as áreas de pesquisa generativa que fornecem conhecimentos fundamentais ao campo. Assim, cria-se uma rede de cocitação no VOSviewer com as 35 referências mais citadas como mostra a Tabela 3. As "citações" destes artigos correspondem ao número de documentos da rede de cocitação nos quais a referência ocorre [citação local]. Um "link" significa uma conexão de coocorrência entre duas referências. Cada "link" tem uma força, representada por um valor numérico positivo. Quanto maior esse valor, mais forte será o "link". A "força total do link" indica o número de documentos nos quais duas referências ocorrem juntas (VAN ECK; WALTMAN, 2017). A Tabela 3 mostra que a rede de cocitação tem o total de 284 citações, 388 links com força total do link de 127,50.

Além das medidas de mapeamento da rede a Tabela 3 contém a síntese da revisão de todos os artigos cocitados. Ela mostra que os documentos contêm conceitos, métodos, técnicas e abordagens subjacentes aos estudos da MGRCS que são amplamente familiares aos pesquisadores da área, quaisquer que sejam seus interesses particulares de pesquisa. Por exemplo, o item 1 (TOMLIN, 2006), citado 20 vezes pelos pares da rede, é um documento bastante importante para os estudos de risco de fornecimento. O item 2 (TANG, 2006), com 19 citações, é vital para a pesquisa de métodos quantitativos da GRCS, tal como visto na análise de citações diretas da Tabela 2.

Tabela 3 - Referências cocitadas

Referência citada	Citações	Links	FTL	Processo de GRCS				Foco	Método, técnica ou abordagem
				IR	AR	MR	CR		
Tomlin (2006)	20	31	19,00			✓		Estratégia ótima de gestão de ruptura de fornecedor	Programação matemática restrita e irrestrita
Tang (2006)	19	32	19,00			✓		Revisão de métodos quantitativos de gestão de risco	Estrutura conceitual para classificação de risco
Hendricks e Singhal (2005)	15	30	14,00		✓			Efeito de interrupções da CS no preço das ações	Análise estatística
Kleindorfer e Saad (2005)	14	29	12,00	✓	✓	✓	✓	Avaliação e mitigação de risco	Estrutura para vulnerabilidades, avaliação e mitigação de risco
Craighead <i>et al.</i> (2007)	13	30	11,00		✓			Rupturas da CS <i>vs.</i> <i>design</i> e mitigação	Pesquisa empírica de múltiplas fontes e múltiplos métodos
Chopra, Reinhardt e Mohan (2007)	10	27	9,00			✓		Seleção de suprimentos e alocação de pedidos	Programação matemática restrita e irrestrita
Harland, Brenchley e Walker (2003)	10	29	9,00	✓	✓	✓	✓	Análise de risco e ferram. de risco de suprimentos	Mapa para identificar, avaliar e gerenciar o risco
Christopher e Lee (2004)	9	22	9,00			✓		Confiança da cadeia de suprimentos	Estrutura conceitual da espiral de risco
Ho <i>et al.</i> (2015)	9	21	8,00	✓	✓	✓	✓	Revisão de literatura da GRCS	Estrutura conceitual de macro-riscos e micro-riscos
Jüttner, Peck e Christopher (2003)	8	26	8,00	✓	✓	✓		Definição de risco da cadeia de suprimentos	Grupo focal qualitativo
Norrman e Jansson (2004)	8	19	8,00	✓	✓	✓	✓	Análise do processo de GRCS do caso Ericsson	Abordagem de caso da vida real
Wu, Blackhurst e Chidambaram (2006)	8	25	8,00	✓	✓			Risco de suprimentos	<i>Analytic Hierarchy Process</i> [AHP]
Zsidisin <i>et al.</i> (2004)	8	29	8,00		✓			Ferramentas e téc. para avaliar risco de suprimentos	Teoria da Agência
Jüttner (2005)	8	24	7,00	✓	✓	✓		Requisitos da GRCS sob a perspectiva profissional	Pesquisa quantitativa; grupo focal qualitativo
Manuj e Mentzer (2008)	8	24	7,00			✓		Mitigação de risco da CS através de flexibilidade	Entrevista; grupo focal qualitativo
Christopher e Peck (2004)	7	28	7,00	✓		✓		Cadeia de suprimentos resiliente	Método empírico qualitativo
Hendricks e Singhal (2003)	7	24	7,00		✓			Falhas na CS e riqueza dos acionistas	Análise estatística
Tummala e Schoenherr (2011)	7	21	7,00	✓	✓	✓	✓	Avaliação e gestão de riscos	Estrutura qualitativa para o processo de GRCS
Wagner e Bode (2008)	7	22	7,00	✓	✓			Desempenho da CS em dimensões de risco	Análise estatística
Klibi, Martel e Guitouni (2010)	7	21	5,00		✓			<i>Design</i> robusto da CS	Revisão qualitativa de literatura
Ho, Xu e Dey (2010)	7	11	4,00		✓			Tomada de decisão para seleção de fornecedores	Revisão qualitativa de literatura
Blackhurst <i>et al.</i> (2005)	6	27	6,00		✓	✓		Gestão de interrupções na CS	Estudo empírico multi-setorial e multi-metodologia
Finch (2004)	6	24	6,00		✓			Risco de rede interorganizacional	Revisão qualitativa da literatura; estudo de caso da vida real
Kull e Talluri (2008)	6	24	6,00		✓			Modelo de redução de risco de suprimentos	AHP; programação por metas
Tang e Tomlin (2008)	6	24	6,00			✓		Mitigação de risco da CS por flexibilidade	Programação matemática restrita e irrestrita
Sinha, Whitman e Malzahn (2004)	6	22	5,00	✓	✓	✓	✓	Metodologia para mitigar risco do fornecedor	Referência de operações da CS [SCOR]; estudo de caso
Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001)	5	25	5,00		✓			Redes de suprimentos e sistemas adaptativos	Quadro teórico-conceitual
Lavastre, Gunasekaran e Spalanzani (2012)	5	9	5,00			✓		Relações colaborativas da CS	Análise estatística
Christopher <i>et al.</i> (2011)	5	14	4,00			✓		Mitigação de riscos de fornecimento global	Estudo de caso múltiplo; entrevistas; evidência documental
Colicchia e Strozzi (2012)	5	18	4,00			✓		Revisão da rede de literatura da GRCS	Análise de rede de citação
Talluri, Narasimhan e Nair (2006)	5	20	4,00		✓			Desempenho do fornecedor e risco de fornecimento	Análise envoltória de dados [DEA]; programação não linear
Tukamuhabwa <i>et al.</i> (2015)	5	20	4,00		✓	✓		Resiliência da CS	Revisão qualitativa da literatura

Chan <i>et al.</i> (2008)	5	6	3,00	✓		Risco de fornecimento com localização dispersa	AHP; Teoria dos Conjuntos Fuzzy
Santoso <i>et al.</i> (2005)	5	5	2,00	✓	✓	Programação estocástica para rede de suprimentos	Programação estocástica; métodos de decomposição; amostragem
Sheffi (2001)	5	13	2,00	✓		CS e terrorismo internacional	Abordagem teórico-conceitual
Total^a	284	388	127,50	11	25	21	6

FTL: força total do *link*; IR: identificação de riscos; AR: avaliação de riscos; MR: mitigação de riscos; CR: controle de riscos; CS: cadeia de suprimentos.

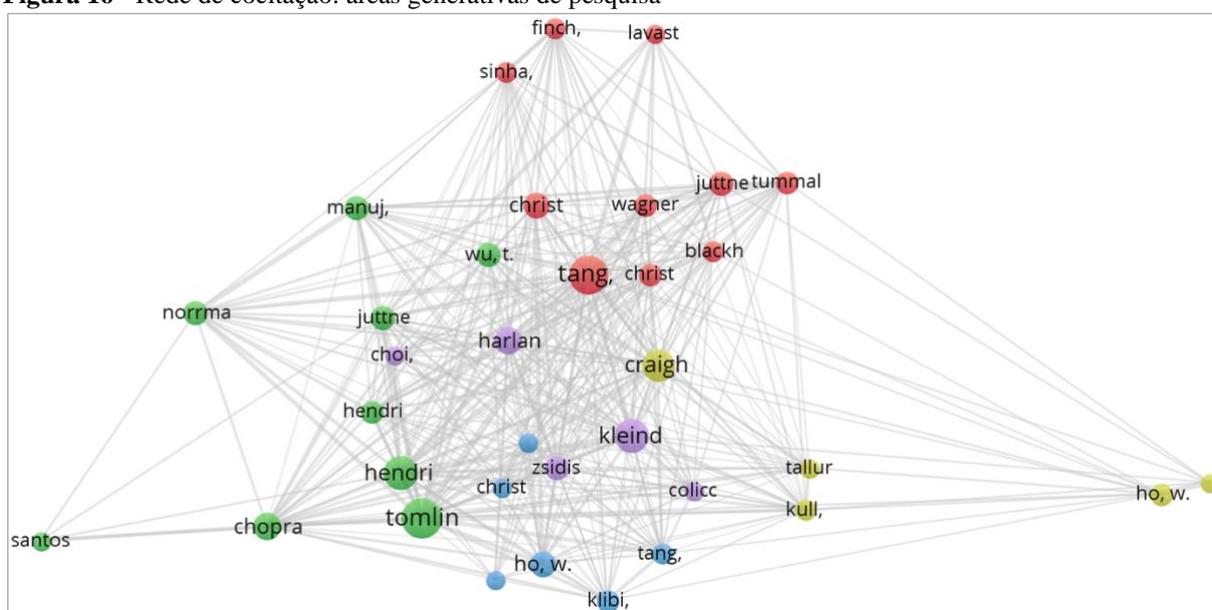
^a Para obter mais informações sobre como calcular o total de *links* e a força total do *link* consultar Van Eck e Waltman (2017).

Fonte: Autoria própria (2020).

Dentre os artigos da Tabela 3 60% foca em processos individuais de GRCS e 40% em processos integrados [duas ou mais etapas do processo de GRCS]. As etapas abordadas nas publicações, em ordem decrescente, são: AR - avaliação de riscos [n=25], MR - mitigação de riscos [n=21], IR - identificação de riscos [n=11], e CR - controle de riscos [n=6].

Os focos, métodos, técnicas e abordagens dos artigos da Tabela 3 são discutidas a partir da análise da rede de cocitação da Figura 16. Nela existem 35 nós. Cada nó representa um documento citado e é rotulado com o nome do autor representante. O tamanho de cada círculo é proporcional à quantidade de citações recebidas pela publicação. Assim, um círculo grande indica um documento altamente citado. Os círculos são agrupados e preenchidos com cores diferentes que representam cinco *clusters* [agrupamentos], de acordo com o algoritmo de similaridade da Equação (11) (VAN ECK e WALTMAN, 2017).

Figura 16 - Rede de cocitação: áreas generativas de pesquisa



Fonte: Autoria própria (2020).

O *cluster* 1 [vermelho] é caracterizado por **revisão e uso de modelagem teórico-conceitual da GRCS**. Ele é formado, em ordem decrescente do número de citações, pelos artigos de Tang (2006), Christopher e Lee (2004), Jüttner (2005), Christopher e Peck (2004), Tummala e Schoenherr (2011), Wagner e Bode (2008), Blackhurst *et al.* (2005), Finch (2004), Sinha, Whitman e Malzahn (2004) e Lavastre, Gunasekaran e Spalanzani (2012). Dentre as publicações mais importantes deste grupo está o trabalho clássico de Tang (2006), o artigo de Christopher e Lee (2004) que discute a importância da confiança para mitigação de riscos da

cadeia de suprimentos e a pesquisa de Jüttner (2005) que enfoca os requisitos de negócio da GRCS a partir da perspectiva profissional. Em complemento, Christopher e Peck (2004) discutem a resiliência da cadeia de suprimentos a partir de estudos empíricos em várias indústrias importantes. Os métodos, técnicas ou abordagens utilizadas por este grupo são estruturas conceituais [*frameworks*], *surveys* quantitativos, grupo focal qualitativo, pesquisas empíricas e estudos de caso, análises estatísticas e métodos qualitativos de revisão de literatura.

O *cluster 2* [verde] é definido por estudos sobre **modelagem de risco da cadeia de suprimentos à montante** [incerteza no fornecimento e avaliação de fornecedores]. Ele é composto pelas publicações de Tomlin (2006), Hendricks e Singhal (2005), Chopra, Reinhardt e Mohan (2007), Jüttner, Peck e Christopher (2003), Norrman e Jansson (2004), Wu, Blackhurst e Chidambaram (2006), Manuj e Mentzer (2008), Hendricks e Singhal (2003) e Santoso *et al.* (2005). O artigo de Tomlin (2006), que tem o maior número de citações locais de toda a rede, é uma importante contribuição para a avaliação e seleção da estratégia ideal de gestão de ruptura de inventário. O trabalho de Hendricks e Singhal (2005) investiga os efeitos de longo prazo no preço das ações da empresa em razão de interrupções de fornecimento. Chopra, Reinhardt e Mohan (2007) discutem a seleção de suprimentos e a alocação de pedidos para minimizar riscos de fornecimento. Os modelos e técnicas aplicadas pelos estudiosos desse *cluster* envolvem programação matemática restrita e irrestrita, análise estatística, abordagem de caso da vida real, AHP, programação estocástica, métodos de decomposição e amostragem. A cocitação frequente dos trabalhos deste grupo indica que esta é uma área ativa de pesquisa.

O *cluster 3* [azul] é categorizado por **modelagem de incertezas da cadeia de suprimentos**. Integram este grupo as publicações de Klibi, Martel e Guitouni (2010), Ho, Xu e Dey (2010), Tang e Tomlin (2008), Christopher *et al.* (2011), Tukamuhabwa *et al.* (2015) e Sheffi (2001). Nesse *cluster*, três trabalhos de revisão de literatura fornecem importante aporte teórico sobre o *design* robusto da cadeia de suprimentos (KLIBI; MARTEL; GUITOUNI, 2010), tomada de decisão de risco de fornecedores (HO; XU; DEY, 2010) e resiliência da cadeia de suprimentos (TUKAMUHABWA *et al.*, 2015). Outro importante artigo é o de Tang e Tomlin (2008) no qual os autores apresentam um modelo quantitativo para a mitigação de riscos através da flexibilidade. Além dos métodos qualitativos de revisão de literatura, autores deste grupo usam programação matemática restrita e irrestrita, estudo de casos múltiplos, entrevistas, evidências documentais e abordagem teórico-conceitual.

O *cluster 4* [amarelo] abrange estudos sobre **decisão multicritério, modelagem não linear e estocástica**. Craighead *et al.* (2007) relacionam interrupções na cadeia de suprimentos

com *design* e capacidades de mitigação. Ho *et al.* (2015) revisam tipos, categorias, definições e estratégias de mitigação de riscos na literatura da GRCS. Mas, os trabalhos mais representativos desse *cluster* são os artigos de Kull e Talluri (2008) sobre um modelo de redução de risco de suprimentos, no qual utilizam os métodos AHP e programação por metas; Talluri, Narasimhan e Nair (2006) sobre desempenho de fornecedor com risco de suprimentos através de análise envoltória de dados [*data envelopment analysis* (DEA)] restritos ao acaso e programação não linear; e Chan *et al.* (2008) a respeito de risco de fornecedor com localização geográfica dispersa através da modelagem Fuzzy AHP.

Finalmente, o *cluster* 5 [roxo] é definido como **MGRCS em estágio inicial**, pois possui estudos com enfoques ainda incipientes. Este grupo discute a abordagem sistêmica do processo de GRCS (KLEINDORFER; SAAD, 2005; HARLAND; BRENCHLEY; WALKER, 2003), o risco da cadeia de suprimentos através da Teoria da Agência (ZSIDISIN *et al.*, 2004), sistemas adaptativos complexos (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001) e revisão de rede de literatura (COLICCHIA; STROZZI, 2012).

Os *clusters* 1 e 2 são os mais populares. Os *clusters* 3 e 4 recebem considerável atenção dos pesquisadores, enquanto o *cluster* 5 está em processo de consolidação. Todos os documentos desses *clusters* podem ser utilizados como um guia de áreas generativas da MGRCS.

3.1.1.3.2.3 Acoplamento bibliográfico

Adota-se o acoplamento bibliográfico para mapear as áreas de pesquisa evolutiva que fornecem conhecimentos emergentes e em ascensão no campo. Para isso, desenvolve-se uma rede de acoplamento bibliográfico com os artigos mais citados na base de dados Scopus para captar pesquisas atuais e populares. São selecionados 33 documentos e aplicado o algoritmo de similaridade do VOSviewer para agrupá-los em quatro *clusters* como mostra a Tabela 4. Nela um “*link*” representa uma conexão entre dois artigos que citam o mesmo documento e a “força total do *link*” indica o número de documentos citados que dois artigos têm em comum. Como essas são medidas locais da rede de acoplamento bibliográfico, o número de citações globais de um artigo pode ser maior que a “força total do *link*”.

A Tabela 4 mostra que os artigos acoplados possuem o total de 7.387 citações, 175 *links* com força total de 238,50. Além disso, ela apresenta a frente de pesquisa, os métodos e as

técnicas usadas, bem como as sugestões de pesquisa futura de cada *cluster*. A Figura 17 é o mapa da rede de acoplamento bibliográfico. Cada nó representa um artigo e é rotulado com o nome do autor representante e o ano da publicação. O tamanho de cada círculo é proporcional à quantidade de citações recebidas pelo artigo e as cores diferentes são usadas para distinguir os quatro *clusters* definidos.

O *cluster* 1 [vermelho] é caracterizado por **revisão e uso de modelagem analítica da GRCS**. A frente geral de pesquisa é formada por revisão de literatura e modelos quantitativos para identificação, avaliação e mitigação de riscos. Os métodos, técnicas ou abordagens utilizadas são revisão narrativa de literatura (KHAN; BURNES, 2007); análise de rede de citação (COLICCHIA; STROZZI, 2012; TANG; MUSA, 2011); AHP (GAUDENZI; BORGHESI, 2006; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006); técnica de análise de modo de falha, efeitos e criticidade (FMECA); redes de Petri (TUNCEL; ALPAN, 2010); modelo de simulação (SCHMITT; SINGH, 2012); Teoria das Opções Reais (CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006); e, análise de mínimos quadrados parciais (KERN *et al.*, 2012). As principais sugestões de pesquisa futura deste grupo são o desenvolvimento de ferramentas para operar mais dados de estudos de GRCS (COLICCHIA; STROZZI, 2012; TANG; MUSA, 2011); replicação da gestão de risco usando o método AHP em vários níveis da cadeia de suprimentos e em diferentes setores (GAUDENZI; BORGHESI, 2006; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006); aplicação de redes de Petri em ambiente de risco compartilhado por várias empresas (TUNCEL; ALPAN, 2010); desenvolvimento de simulações com restrições de produção para lidar com interrupções complexas (SCHMITT; SINGH, 2012); e, pesquisas com abordagens holísticas de gestão de risco *downstream* e *upstream* (KERN *et al.*, 2012).

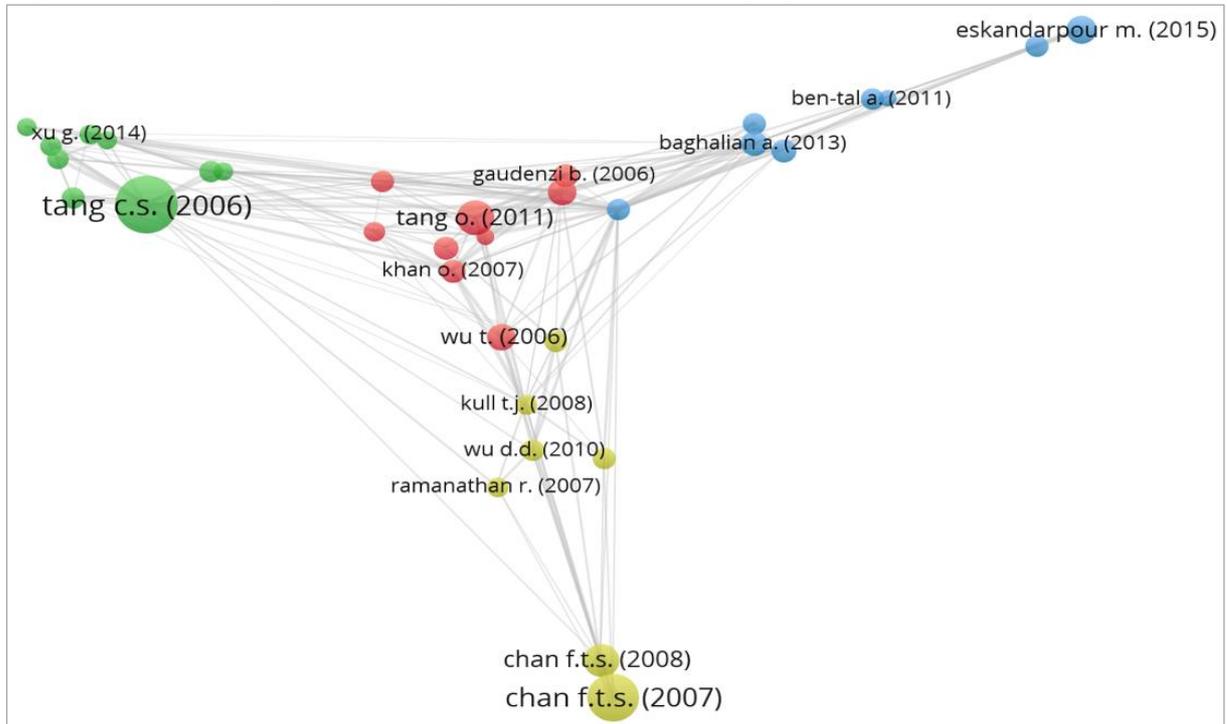
Tabela 4 - Classificação dos documentos acoplados

Cluster 1 (vermelho): Revisão e uso de modelagem analítica da GRCS									
Documento	Citações	Links	FTL	Frente geral de pesquisa	Método, técnica ou abordagem	Sugestões de pesquisa futura			
Tang e Musa (2011)	418	14	16,00	Revisão de literatura; modelos quantitativos para identificação, avaliação e mitigação de riscos	Revisão narrativa de literatura; análise de rede de citação; AHP; técnica de análise de modo de falha, efeitos e criticidade (FMECA); Redes de Petri; modelo de simulação; Teoria das Opções Reais; análise de mínimos quadrados parciais.	Desenvolvimento de ferramentas para operar mais dados de estudos de GRCS; replicação da gestão de risco usando o método AHP em vários níveis da cadeia de suprimentos e em diferentes setores; aplicação de redes de Petri em ambiente de risco compartilhado por várias empresas; desenvolvimento de simulações com restrições de produção para lidar com interrupções complexas; pesquisar com abordagens holísticas de gestão de risco <i>downstream</i> e <i>upstream</i> .			
Colicchia e Strozzi (2012)	232	21	36,00						
Gaudenzi e Borghesi (2006)	193	12	13,00						
Khan e Burnes (2007)	189	13	22,00						
Tuncel e Alpan (2010)	172	10	4,00						
Wu, Blackhurst e Chidambaram (2006)	250	12	9,00						
Schmitt e Singh (2012)	155	11	5,00						
Cucchiella e Gastaldi (2006)	135	11	9,00						
Kern <i>et al.</i> (2012)	101	14	19,00						
Total	1.845	59	66,50						
Cluster 2 (verde): Modelagem de risco de previsão de oferta e demanda									
Documento	Citações	Links	FTL	Frente geral de pesquisa	Método, técnica ou abordagem	Sugestões de pesquisa futura			
Tang (2006)	1118	23	40,00	Gestão de riscos de oferta e demanda; coordenação da cadeia de suprimentos de canal duplo	Análise de literatura; modelo estocástico; Teoria da Desigualdade Variacional de Dimensão Finita; simulação e otimização computacional; Teoria da Agência; função de utilidade de aversão à perda linear simples por partes; modelo de média-variância; Teoria dos Jogos.	Extensões de modelos de risco para redes globais de suprimentos; pesquisa empírica para validar as abordagens propostas; e estudos de riscos da cadeia de suprimentos com informações assimétricas.			
Mishra e Raghunathan (2004)	171	8	13,00						
Nagurney <i>et al.</i> (2005)	170	12	9,00						
Wang e Webster (2007)	129	9	10,00						
Xu <i>et al.</i> (2014)	142	13	10,00						
Seifert, Thonemann e Hausman (2004)	136	6	9,00						
Du <i>et al.</i> (2015)	122	5	5,00						
Ding, Dong e Kouvelis (2007)	120	8	12,00						
Chiu e Choi (2013)	110	14	12,00						
Total	2.218	49	60,00						
Cluster 3 (azul): Modelagem de risco de sustentabilidade, alimentos e energia									
Documento	Citações	Links	FTL	Frente geral de pesquisa	Método, técnica ou abordagem	Sugestões de pesquisa futura			
Eskandarpour <i>et al.</i> (2015)	267	3	10,00	Riscos de sustentabilidade; questões de incerteza de demanda; cadeias de suprimentos de ajuda humanitária; questões energéticas; programação matemática robusta; modelagem dinâmica por computador	Revisão de literatura e análise de rede; programação linear inteira estocástica; programação não linear inteira mista estocástica; estudo de caso; programação linear determinística multiperíodo; programação estocástica multiobjetivo; algoritmo de decomposição; valor condicional em risco (CVaR); risco de desvantagem [<i>downside risk</i>].	Amplas abordagens sustentáveis de ciclo de vida; novas métricas de risco social; melhoria de modelos multiobjetivo para a sustentabilidade; <i>design</i> da CS para vários períodos; incerteza de oferta e demanda no <i>design</i> da CS; generalização do modelo de localização estocástico; melhoria em <i>software</i> de análise de rede literária; estudo de decisão não linear em grande escala; expansão do estudo sobre os riscos da cadeia de suprimentos de hidrocarbonetos.			
Baghalian, Rezapour e Farahani (2013)	201	19	25,00						
You e Grossmann (2008)	184	11	7,00						
Snyder, Daskin e Teo (2007)	165	4	8,00						
Fahimnia <i>et al.</i> (2015)	164	25	49,00						
Ben-Tal <i>et al.</i> (2011)	163	3	2,00						
Gebreslassie, Yao e You (2012)	156	5	14,00						
Applequist, Pekny e Reklaitis (2000)	105	4	2,00						
Total	1.405	37	58,50						

Cluster 4 (amarelo): Decisão multicritério e modelagem Fuzzy						
Documento	Citações	Links	FTL	Frente geral de pesquisa	Método, técnica ou abordagem	Sugestões de pesquisa futura
Chan e Kumar (2007)	765	7	30,00			Seleção de fornecedor multiobjetivo com sustentabilidade; comparação de programação multiobjetivo Fuzzy com modelos de análise de decisão; aplicação do modelo Fuzzy-AHP em casos da vida real; validação empírica do modelo
Chan <i>et al.</i> (2008)	374	9	33,00			Algoritmo Genético-Teoria dos Conjuntos Fuzzy-Teoria das Possibilidades; aumento das variáveis de programação por metas-AHP; integração de riscos e preferências Fuzzy ao modelo DEA-TCO-AHP.
Wu <i>et al.</i> (2010)	168	7	10,00			
Wang <i>et al.</i> (2012)	167	6	5,00	Avaliação e seleção de fornecedor;	AHP; Teoria dos Conjuntos Fuzzy;	
Wang e Shu (2005)	155	9	11,00	avaliação de iniciativas verdes na	programação multiobjetivo difusa; Teoria das	
Kull e Talluri (2008)	147	17	14,00	cadeia de suprimentos; riscos de	Possibilidades; algoritmos genéticos;	
Ramanathan (2007)	143	5	4,00	suprimento e estoque	programação de metas; custo total de	
Total	1.919	30	53,50			
Total^a	7.387	175	238,50			

FTL: força total do *link*; ^a Para obter mais informações sobre como calcular o total de *links* e a força total do *link* consultar Van Eck e Waltman (2017).

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 17 - Rede de acoplamento bibliográfico: áreas evolutivas de pesquisa

Fonte: Autoria própria (2020).

O *cluster 2* [verde] é definido por estudos sobre **modelagem de risco de previsão de oferta e demanda**. A frente de pesquisa é formada por gestão de risco de oferta e demanda (MISHRA; RAGHUNATHAN, 2004; NAGURNEY *et al.*, 2005; TANG, 2006); coordenação da cadeia de suprimentos de canal duplo (WANG; WEBSTER, 2007; XU *et al.*, 2014); e incerteza de demanda (DING; DONG; KOUVELIS, 2007; DU *et al.*, 2015). As técnicas e abordagens usadas são análise de literatura (CHIU; CHOI, 2013; TANG, 2006) modelo estocástico (MISHRA; RAGHUNATHAN, 2004; NAGURNEY *et al.*, 2005; SEIFERT; THONEMANN; HAUSMAN, 2004); Teoria da Desigualdade Variacional de Dimensão Finita e simulação e otimização computacional (NAGURNEY *et al.*, 2005); Teoria da Agência e função de utilidade de aversão à perda linear simples por partes (WANG; WEBSTER, 2007); modelo de média-variância (CHIU; CHOI, 2013; DING; DONG; KOUVELIS, 2007; XU *et al.*, 2014); Teoria dos Jogos (DU *et al.*, 2015). As recomendações para mais pesquisa são extensões de modelos de risco para redes globais de suprimentos; pesquisa empírica para validar as abordagens propostas (MISHRA; RAGHUNATHAN, 2004; NAGURNEY *et al.*, 2005; WANG; WEBSTER, 2007); e, estudos de riscos da cadeia de suprimentos com informações assimétricas (XU *et al.*, 2014).

O *cluster* 3 [azul] envolve pesquisas sobre **modelagem de risco de sustentabilidade, alimentos e energia**. Ele possui os trabalhos cronologicamente mais recentes sobre riscos de sustentabilidade (ESKANDARPOUR *et al.*, 2015); incerteza de demanda na indústria alimentícia e química (APPLEQUIST; PEKNY; REKLAITIS, 2000; BAGHALIAN; REZAPOUR; FARAHANI, 2013; SNYDER *et al.*, 2007; YOU; GROSSMANN, 2008); cadeias de suprimentos de ajuda humanitária (BEN-TAL *et al.*, 2011); e, questões energéticas, como riscos de biorrefinaria de hidrocarbonetos (GEBRESLASSIE; YAO; YOU, 2012). A maior parte dos métodos, técnicas ou abordagens usadas envolvem programação matemática robusta e modelagem computacional dinâmica, como programação linear inteira estocástica (SNYDER *et al.*, 2007); programação não linear inteira mista estocástica e estudo de caso (APPLEQUIST; PEKNY; REKLAITIS, 2000; BAGHALIAN; REZAPOUR; FARAHANI, 2013; YOU; GROSSMANN, 2008); programação linear determinística multiperíodo (BEN-TAL *et al.*, 2011); programação estocástica multiobjetivo, algoritmo de decomposição, valor condicional em risco [CVaR] e risco de desvantagem [*downside risk*] (GEBRESLASSIE; YAO; YOU, 2012); e revisão de literatura e análise de rede (FAHIMNIA *et al.*, 2015; ESKANDARPOUR *et al.*, 2015). Neste grupo há muito espaço para mais pesquisas, tais como abordagens sustentáveis mais amplas de ciclo de vida, novas métricas de risco social e melhoria de modelos multiobjetivo para a sustentabilidade (ESKANDARPOUR *et al.*, 2015); *design* da cadeia de suprimentos para multiperíodo (BAGHALIAN; REZAPOUR; FARAHANI, 2013); incerteza de oferta e demanda no *design* da cadeia de suprimentos (YOU; GROSSMANN, 2008); generalização do modelo de localização estocástico (SNYDER *et al.*, 2007); estudos de decisão não linear em grande escala (BEN-TAL *et al.*, 2011); melhoria em *software* de análise de rede literária (FAHIMNIA *et al.*, 2015); e, expansão do estudo sobre os riscos da cadeia de suprimentos de hidrocarbonetos a nível global (GEBRESLASSIE; YAO; YOU, 2012).

Finalmente, o *cluster* 4 [amarelo] é definido por estudos sobre **decisão multicritério e modelagem Fuzzy**. A frente geral de pesquisa abrange avaliação e seleção de fornecedor (CHAN; KUMAR, 2007; CHAN *et al.*, 2008; RAMANATHAN, 2007; WU *et al.*, 2010); avaliação de iniciativas verdes na cadeia de suprimentos (WANG *et al.*, 2012); e, riscos de suprimento e estoque (KULL; TALLURI, 2008; WANG; SHU, 2005). Os principais métodos e técnicas adotadas são o AHP e a Teoria dos Conjuntos Fuzzy (Fuzzy AHP) (CHAN; KUMAR, 2007; CHAN *et al.*, 2008; WANG *et al.*, 2012); programação multiobjetivo difusa (WU *et al.*, 2010); Teoria dos Conjuntos Fuzzy, Teoria da Possibilidade e algoritmo genético (WANG; SHU, 2005); AHP e programação por metas (KULL; TALLURI, 2008); custo total

de propriedade [*total cost of ownership* - TCO], AHP e DEA (RAMANATHAN, 2007). As sugestões para pesquisas futuras são a seleção de fornecedor multiobjetivo com sustentabilidade (CHAN; KUMAR, 2007; CHAN *et al.*, 2008); comparação de programação multiobjetivo Fuzzy com modelos de análise de decisão (WU *et al.*, 2010); aplicação do modelo Fuzzy-AHP em casos da vida real (WANG *et al.*, 2010); validação empírica do modelo Algoritmo Genético-Teoria dos Conjuntos Fuzzy-Teoria das Possibilidades (WANG; SHU, 2005); aumento das variáveis de programação por metas-AHP (KULL; TALLURI, 2008); e integração de riscos probabilísticos e preferências Fuzzy ao modelo DEA-TCO-AHP (RAMANATHAN, 2007).

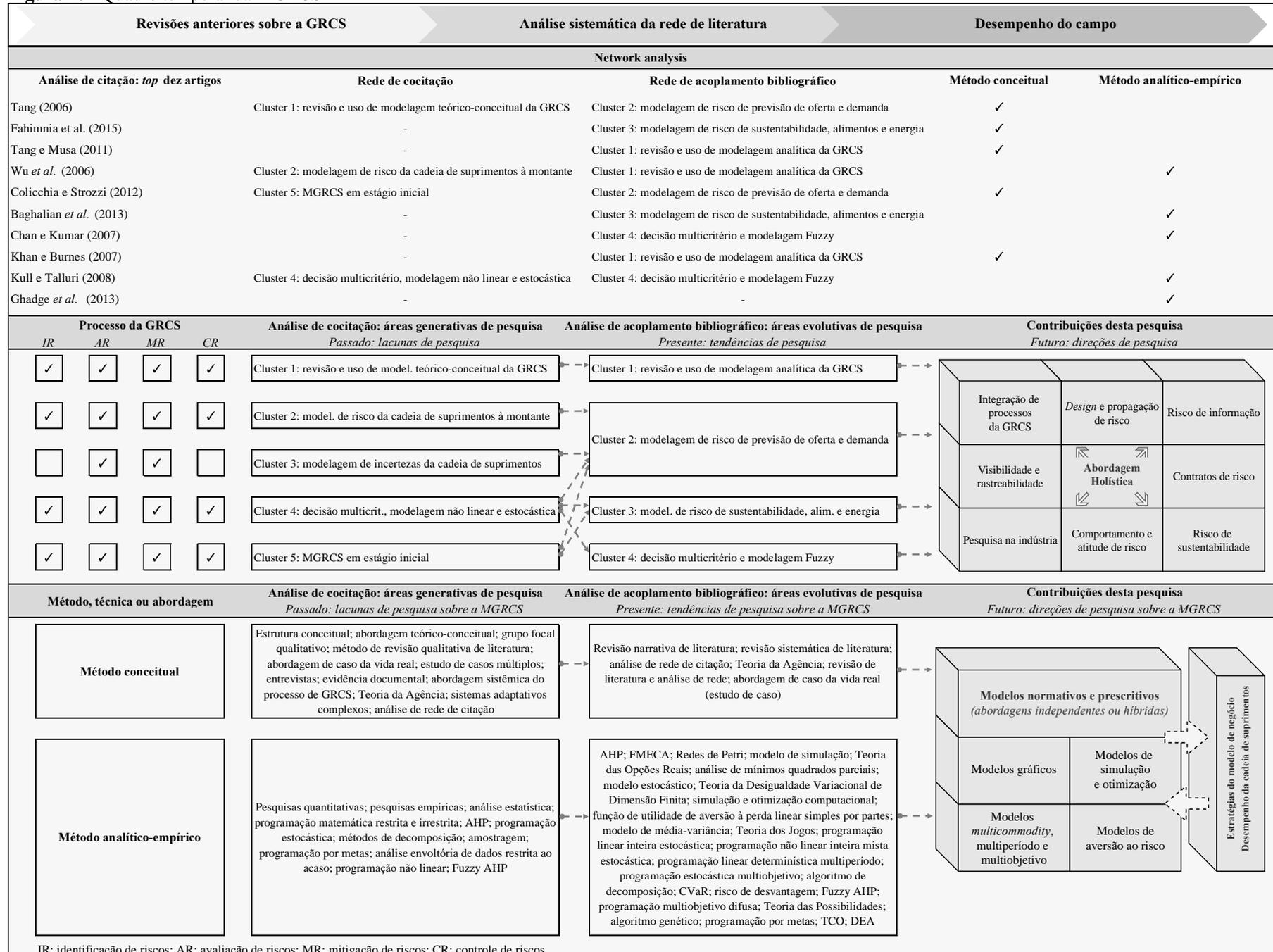
Ao se comparar os *clusters* da rede de acoplamento bibliográfico entre si, descobre-se que o *cluster* 1 é o primeiro passo para a implementação da modelagem de risco dos *clusters* 2 e 4. O aprimoramento da modelagem de risco dos *clusters* 2 e 4 é crucial para o gerenciamento de risco em áreas despontantes do *cluster* 3, por exemplo, riscos de sustentabilidade, cadeias de suprimentos de ajuda humanitária e questões energéticas. Todos esses *clusters* representam áreas evolutivas de pesquisa com um amplo escopo futuro.

3.1.1.4 Discussão dos resultados e direções de pesquisa futura

A análise da rede de literatura permite compreender as áreas e conceitos-chave do campo ao longo do tempo e quais são as possibilidades de mais pesquisas. A Figura 18 mostra o *quadro temporal da MGRCS e direções de pesquisa futura*. Constata-se que os artigos mais influentes são representados por estudos conceituais e analítico-empíricos. Estes trabalhos compõem praticamente todos os *clusters* das redes de cocitação e de acoplamento bibliográfico, o que comprova que além de serem os estudos mais populares são também os de maior prestígio.

Na análise de cocitação se descobre que a maior parte dos *clusters* de pesquisa generativa adota o processo integrado da GRCS, confirmando o caráter metodológico estruturado do campo. Observa-se que os cinco *clusters* da rede de cocitação fornecem os conhecimentos fundamentais para os quatro *clusters* de pesquisa emergente da rede de acoplamento bibliográfico. As lacunas de pesquisa dos *clusters* 1, 2 e 3 da rede de cocitação influenciam as tendências de pesquisa dos *clusters* 1 e 2 da rede de acoplamento bibliográfico; o *cluster* 4 da rede de cocitação influencia os *clusters* 2, 3 e 4 da rede de acoplamento bibliográfico; e o *cluster* 5 da rede de cocitação inspira os *clusters* 2 e 3 da rede de acoplamento bibliográfico.

Figura 18 - Quadro temporal da MGRCS



IR: identificação de riscos; AR: avaliação de riscos; MR: mitigação de riscos; CR: controle de riscos.

Fonte: Autoria própria (2020).

Pela conciliação de conhecimentos das áreas de pesquisa generativa e pesquisa evolutiva é possível estabelecer as seguintes direções de pesquisa futura:

- *Abordagem holística*: a MGRCS deve ser vista como um sistema que envolve múltiplos interessados e múltiplas interações; usar abordagens como “sistemas dinâmicos” e “sistemas adaptativos complexos” para entender os desafios de risco permite o desenvolvimento de pesquisa com amplo escopo futuro.
- *Integração dos processos da GRCS*: além das quatro etapas típicas da GRCS (identificação, avaliação, mitigação e controle), duas novas etapas devem ser incorporadas em futuros estudos: a “comunicação de risco” (OLIVEIRA *et al.*, 2019) e a “recuperação de risco” (HO *et al.*, 2015); a “comunicação de risco” é o compartilhamento de informações com todos os atores envolvidos na GRCS para manter o controle sistemático de vulnerabilidades; e a “recuperação de risco” deve permitir que a cadeia de suprimentos retorne rapidamente ao seu estado original durante a ocorrência de algum distúrbio/interrupção.
- *Design e propagação de risco*: o *design* robusto e resiliente da cadeia de suprimentos é importante para garantir a continuidade das operações com respostas rápidas a mudanças ou interrupções (COLICCHIA; STROZZI, 2012). A análise de *trade-offs* de medidas de risco robustas proativas e reativas para gerenciar e mitigar a propagação de rupturas merece atenção em estudos futuros (GHADGE; DANI; KALAWSKY, 2012; RAJAGOPAL; SHANMUGAM; GOH, 2017).
- *Risco de informação*: enquanto o risco de fluxo de material [fornecimento e demanda] e o risco de fluxo de capital são tópicos maduros de pesquisa, há pouco estudo sobre modelos de risco de fluxo de informação. As cadeias de suprimentos operam e interagem em uma rede massiva de conexões que as expõem a diversas ameaças cibernéticas (TANG; MUSA, 2011). O compartilhamento adequado de informações pode apoiar a gestão de riscos e a mitigação de interrupções (COLICCHIA *et al.*, 2019; SHARMA; ROUTROY, 2016). Neste contexto, as ferramentas analíticas do *Big Data* podem contribuir com os desafios da GRCS. Arquiteturas, algoritmos e modelos para processar grandes conjuntos de dados de negócio e mídias sociais melhoram os processos de tomada de decisão e a medição de desempenho da cadeia de suprimentos (FAN; HEILIG; VOSS, 2015; HAZEN *et al.* 2014; KACHE; SEURING, 2017; MISHRA *et al.*, 2018; SANDERS; GANESHAN, 2015).

- *Visibilidade e rastreabilidade*: diversas tecnologias de informação e comunicação têm impactado as cadeias de suprimentos em termos de visibilidade. Tecnologias atuais como RFID, ERP, 5G, *Internet-of-things*, manufatura inteligente, *cloud computing* e *blockchain* aproximam as empresas do contexto da Indústria 4.0, tornando-se importantes ferramentas de informação para a GRCS (GHADGE; DANI; KALAWSKY, 2012; QUEIROZ; TELLES; BONILLA, 2019; ZHONG *et al.*, 2017). A análise realizada neste artigo mostra que a visibilidade e a rastreabilidade não aparecem nos núcleos da pesquisa da GRCS. Portanto, isso terá um impacto nas direções de trabalho futuro.
- *Contratos de risco*: os resultados constataam que a pesquisa do campo concentra esforços em contratos para flutuações de preço e demanda, mas faltam pesquisas sobre contratos de longo prazo para o gerenciamento de interrupções. Contratos para compartilhamento de risco são tópicos importantes na coordenação da cadeia de suprimentos.
- *Pesquisa na indústria*: a MGRCS deve ser aplicada em vários tipos de indústria e em escala global para validar as abordagens conceituais propostas; além disso, a maioria dos estudiosos se concentra em cadeias de suprimentos de fabricação, enquanto as cadeias de suprimentos de serviço ou do setor público quase não são investigadas. É essencial fornecer aos setores da indústria modelos de GRCS proativos e reativos.
- *Comportamento e atitude de risco*: a GRCS deriva de avaliações que resultam de diferentes comportamentos e atitudes de risco (RAJAGOPAL; SHANMUGAM; GOH, 2017; VANANY; ZAILANI; PUJAWAN, 2009). Pesquisas sobre modelos e práticas de tomada de decisão considerando-se o comportamento de risco precisam de mais atenção.
- *Risco de sustentabilidade*: a análise realizada aponta que este é o tópico de pesquisa mais emergente e promissor no campo. Ele teve um surgimento rápido com a fertilização cruzada entre conceitos e ferramentas de outras áreas (BRANDENBURG *et al.*, 2014; ESKANDARPOUR *et al.*, 2015; SEURING, 2013). Temas que envolvam sustentabilidade econômica [reciclagem, remanufatura, logística reversa, crédito e taxa de câmbio], sustentabilidade ambiental [riscos climáticos e efeito estufa, energias renováveis, alimentos] e sustentabilidade social [rede de ajuda humanitária, risco de

reputação, saúde pública, riscos de epidemias e pandemias] possuem grande potencial para os pesquisadores fazerem contribuições importantes em trabalhos futuros.

- *Modelos normativos e prescritivos*: percebe-se que a medida que o campo amadurece os modelos conceituais e empírico-analíticos evoluem para modelos mais normativos e prescritivos. Além disso, o uso de modelos híbridos tem crescido significativamente. Ghadge *et al.* (2013) afirmam que os modelos híbridos são mais robustos e fornecem *insights* difíceis de capturar em abordagens independentes. Isso é visto como uma proveitosa direção de pesquisa futura.
- *Modelos gráficos*: observa-se que a programação estocástica, programação robusta, programação linear inteira mista (PLIM), programação não linear inteira mista (PNLIM), modelos AHP e Fuzzy, redes de Petri (RP) e Teoria dos Jogos são modelos comumente usados na GRCS. Programação de possibilidades, programação dinâmica estocástica, programação por metas, programação dinâmica e redes Bayesianas (RB) têm uso limitado no campo. A modelagem gráfica [que inclui redes de Markov, RP e RB] de uma cadeia de suprimentos inteira considerando as interdependências e o efeito cascata é um tópico promissor de pesquisa futura.
- *Modelos multicommodity, multiperíodo e multiobjetivo*: a literatura atual trata principalmente de uma cadeia de suprimentos simples de dois ou três escalões. Estudos focados em redes de suprimentos *multicommodity*, multiperíodo e multiobjetivo são limitados na modelagem analítica e precisam de atenção (CHIU; CHOI, 2013; RAJAGOPAL; SHANMUGAM; GOH, 2017; SCHMITT; SINGH, 2012). Alguns métodos recomendados para isso são programação linear determinística multiperíodo, programação estocástica multiobjetivo, algoritmo de decomposição, Fuzzy AHP, programação multiobjetivo Fuzzy e modelos de média-variância.
- *Modelos de simulação e otimização computacional*: descobre-se que o ciclo simulação-otimização pode ser melhor explorado, especialmente para reproduzir a dinâmica e os impactos de risco (NAGURNEY *et al.*, 2005; SCHMITT; SINGH, 2012). Métodos modernos de otimização como algoritmos genéticos, *machine learning*, *deep learning*, otimização de enxame de partículas, colônia de formigas e interseção de limite normal podem ser aplicados em novos modelos de risco, uma vez que não foram observados nesta pesquisa.

- *Modelos de aversão ao risco*: como a GRCS é orientada por custos e benefícios, muitas vezes é difícil justificar investimento na recuperação de interrupções ou rupturas de baixa probabilidade. Por isso, os modelos de risco baseados em medidas avessas ao risco como valor em risco (VaR), valor condicional em risco (CVaR) e restrições de dominância estocástica precisam de atenção em pesquisa futura.

A maioria das publicações da rica literatura sobre a MGRCS aborda um tópico de uma perspectiva geral, subestimando a relevância de uma análise profunda sobre as relações entre riscos, estratégias, desempenho e abordagens de modelagem apropriada.

Os 14 fatores de pesquisa identificados são tópicos individuais dentro do campo que fornecem aos pesquisadores e gerentes hipóteses para trabalhos futuros. Esses fatores formam um fluxo de pesquisa futura no qual há dois pontos culminantes, como mostra o lado direito da Figura 18: primeiro, é preciso a *adoção da abordagem holística* da GRCS para a integração de processos, concepção do *design*, gerenciamento da informação, visibilidade e coordenação de risco, impactando as necessidades reais da indústria e dos tomadores de decisão rumo à sustentabilidade; segundo, é fundamental o desenvolvimento da modelagem de risco apropriada e isso só será possível aplicando uma *tipologia normativa e prescritiva* evoluída que leva em consideração tanto as estratégias quanto o desempenho real da cadeia de suprimentos. Espera-se que este artigo contribua com *insights* firmes e claramente identificados para que isso ocorra no campo da MGRCS em um futuro próximo.

3.1.1.5 Conclusões, recomendações e limitações

A literatura sobre a GRCS, e sobre a MGRCS em particular, tem se consolidado tanto pelo número de publicações quanto pelo escopo de pesquisa. Após a virada do milênio o campo ganhou impulso e evoluiu de um estágio inicial para um estágio bastante estabelecido. Neste artigo apresenta-se uma revisão sistemática da literatura do campo em um período de 20 anos [1999-2019], a partir de 566 artigos publicados na base de dados Scopus, dos quais 120 são revisados. Busca-se analisar o desempenho do campo, mapear os estudos mais influentes, as áreas generativas e evolutivas de pesquisa e fornecer direções de pesquisa futura. São usados métodos e ferramentas bibliométricas de análise de rede de citação nunca antes aplicadas conjuntamente para compreensão sistêmica do fluxo de pesquisa no campo ao longo do tempo.

É provável que o estudo sobre a MGRCS se estenda nos próximos anos. Constatase que os periódicos mais prolíficos do campo são também os mais citados. Os autores com mais publicações não são os mais citados; e os autores mais citados têm publicações com importante impacto acadêmico dentro e fora do campo. A pesquisa sobre riscos e interrupções da cadeia de suprimentos é necessariamente globalizada, embora seja preciso ampliar a pesquisa em países menos desenvolvidos.

Percebe-se que a repetição dos artigos mais influentes em quase todos os *clusters* de pesquisa mapeados pode fornecer uma visão estagnada do campo. Mas, se espera que não seja este o caso. Acredita-se que pesquisadores adicionais e diversos contribuirão e influenciarão a disciplina em direções inovadoras e interessantes. A partir de uma série de lacunas e tendências do campo propõe-se um fluxo de pesquisa futura a ser explorado que deve aumentar a praticabilidade da MGRCS no mundo real. Embora a adição dos fatores propostos possa ampliar a pesquisa do campo, os pesquisadores precisam investigar se a complexidade adicional afeta a resolubilidade dos problemas reais. Além disso, os benefícios das soluções baseadas em modelagem também podem ser limitados pela qualidade de dados, cultura, estratégia, estrutura e desempenho da cadeia de suprimentos.

Há limitações metodológicas neste estudo. A expansão das combinações de palavras-chave poderia resultar em uma revisão mais exaustiva do campo. Mas, palavras-chave adicionais resultarão em um conjunto maior de artigos que exigirá ferramentas bibliométricas e de análise de rede mais arrojadas. Assim, também existem oportunidades para futuros estudos no campo à medida que as abordagens e ferramentas bibliométricas são aprimoradas.

Mas, a principal limitação está relacionada ao princípio de trabalho das citações. Os métodos baseados em citações não são capazes, por si só, de compreender completamente a contribuição efetiva de uma pesquisa para a literatura ou de definir o motivo pelo qual uma determinada publicação foi citada (SHEMA, 2013; ZUPIC; CATER, 2014). Outra desvantagem é o chamado *Matthew effect*, ou seja, “os ricos ficam mais ricos”. Pesquisadores conhecidos, que já recebem uma quantidade considerável de citações, tendem a receber cada vez mais citações porque seus trabalhos são altamente considerados por causa de sua reputação e popularidade. Além disso, a autocitação também limita as medidas de citação. Uma consideração final é que as citações são coletadas de bancos de dados. No caso deste artigo, conta-se com o Scopus, que apesar de ser uma coleção científica vasta e abrangente não inclui a totalidade das publicações já produzidas. Também não se limita os periódicos coletados nesse banco de dados a qualquer classificação específica como *h-index* (HIRSCH, 2005), *Journal*

Impact Factor (GARFIELD, 2006), AJG (THE ASSOCIATION OF BUSINESS SCHOOLS, 2018), etc.

O *World Economic Outlook* do Fundo Monetário Internacional (FMI) contabiliza uma recessão global de 3,2% em 2020, em razão, principalmente, da pandemia mundial provocada pela COVID-19. Esta é a maior queda econômica desde a Grande Depressão de 1929. Portanto, governos, mercados e sociedades têm a difícil tarefa de recuperar cadeias de suprimentos globais severamente colapsadas por essa pandemia sem precedentes. Apesar das limitações expostas, espera-se que este estudo contribua com as vulnerabilidades reais das cadeias de valor internacionais, promovendo a melhor reflexão de pesquisadores e gerentes na investigação da MGRCS.

3.2 ARTIGO 2 - PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA COMPUTACIONAL

3.2.1 Risco de Seleção de Fornecedor: um Novo Sistema de Tomada de Decisão Baseado em Computador com Fuzzy Extended AHP¹³

Resumo: os riscos de fornecedor têm atraído atenção significativa na literatura da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos (GRCS). Neste artigo, é proposto um novo sistema computacional baseado no método *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP) para seleção de fornecedor considerando riscos. Procura-se avaliar as oportunidades e limitações da utilização do método FEAHP na seleção de fornecedor considerando riscos e analisar o suporte do sistema desenvolvido através do caso de uma empresa brasileira de petróleo e gás natural *onshore*. A abordagem computacional baseada no FEAHP promove a automação da seleção de fornecedor ao determinar uma hierarquia de critérios, subcritérios e alternativas. Primeiramente, os critérios e subcritérios específicos para o problema de seleção são identificados pelos decisores, tomando como ponto de partida a literatura pertinente. Em seguida, os decisores realizam uma comparação entre pares dos requisitos predefinidos usando uma escala linguística. Esta avaliação é então quantificada pelo cálculo dos pesos de prioridade dos critérios, subcritérios e alternativas. A melhor alternativa de decisão é aquela com a maior pontuação final. Uma análise de sensibilidade é realizada para verificar os resultados do modelo proposto. A abordagem computacional do FEAHP automatiza o processo de seleção de fornecedor de forma racional, flexível e ágil, conforme percebido pela empresa focal. A partir disso, hipotetiza-se que o uso desse sistema pode fornecer *insights* úteis na escolha dos melhores fornecedores em um ambiente de risco e incerteza, maximizando assim o desempenho da cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: Risco de Seleção de Fornecedor; Programação Multicritério; Sistema de Tomada de Decisão; AHP; Lógica Fuzzy.

¹³ FAGUNDES, M.V.C.; HELLINGRATH, B.; FREIRES, F.G.M. Supplier selection risk: a new computer-based decision-making system with Fuzzy Extended AHP. *Logistics*, v. 5, n. 13, 17 p., 2021. DOI: 10.3390/logistics5010013

3.2.1.1 Introdução

Atualmente, o processo de seleção de fornecedor é um aspecto vital da cadeia de suprimentos, pois engloba diversos riscos inerentes aos negócios. O desempenho do fornecedor pode influenciar a competitividade de toda a cadeia de suprimentos. Selecionar os fornecedores certos para uma cadeia de suprimentos traz benefícios como custos de aquisição reduzidos, contribui para a inovação de produtos e ajuda a alcançar processos de produção eficazes. Além disso, a crescente competição de mercado força as cadeias de suprimentos a estabelecer relações mais bem-sucedidas e sustentáveis com seus fornecedores. No entanto, à medida que a estrutura da cadeia de suprimentos se torna mais ampla, mais complexa e mais globalizada, as empresas se tornam mais dependentes de seus fornecedores e também vulneráveis a riscos e interrupções (YOON *et al.*, 2018).

Certas rupturas podem dificultar o fluxo de produtos, recursos e capital, causando reações críticas de clientes e mercados. Como um exemplo dramático disso, tem-se a pandemia de coronavírus [COVID-19], que afetou gravemente as operações das empresas em todo o mundo, destacando a necessidade de planos eficazes de gestão de riscos de suprimentos. Portanto, uma metodologia adequada para a seleção de fornecedores é uma necessidade cada vez mais importante para a resiliência e robustez da cadeia de suprimentos.

Uma parte da literatura sobre os riscos da cadeia de suprimentos estabelece que a seleção de fornecedores pode ser tratada como um problema de tomada de decisão de múltiplos critérios. Os diferentes critérios de seleção de fornecedores podem variar dependendo das necessidades, preferências, estratégia de tecnologia e riscos de uma empresa (CHAN; KUMAR, 2007). Modelar um problema de decisão pode envolver um único ou múltiplos tomadores de decisão, afetando um ou mais critérios ao longo do processo, como preço, qualidade, entrega, serviço, etc. Cada tomador de decisão tem valores de julgamento pessoal sobre esses critérios de seleção, então, o valor dessas variáveis de decisão é subjetivamente influenciado (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013). Assim, o processo de seleção de fornecedores envolve imprecisão, incerteza, subjetividade e ambiguidade.

Os modelos de tomada de decisão que envolvem mais de um critério são chamados de modelos de decisão multicritério. Nestes modelos, as alternativas de decisão são avaliadas de acordo com o número de critérios [e subcritérios] definidos, exigindo a utilização de um método adequado de classificação de preferências (KAHRAMAN, 2008). Para isso, o *Analytic*

Hierarchy Process (AHP) tem sido amplamente utilizado, pois pode lidar com problemas reais de tomada de decisão multicritério (SAATY, 1980). Apesar de sua popularidade e simplicidade conceitual, esse método é frequentemente criticado pela incapacidade de lidar com a incerteza e imprecisão inerentes ao mapeamento da percepção do tomador de decisão (YADAV; SHARMA, 2015). Na formulação tradicional do AHP, os julgamentos humanos são representados como números exatos ou nítidos. Porém, em muitos casos práticos, como o problema de seleção de fornecedores, o modelo de preferência humana é incerto, vago e subjetivo, não sendo viável para o tomador de decisão expressar as suas preferências por meio de valores numéricos exatos. Nestes casos, é melhor para o tomador de decisão usar 'avaliações de intervalo' ou 'avaliações difusas'.

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy se assemelha ao raciocínio humano, representando matematicamente o uso de informações aproximadas e incertas nas decisões (ZADEH, 1965). A necessidade do mundo atual de encontrar soluções reais para problemas com imprecisão inerente tornou a lógica Fuzzy importante nas esferas econômica, social, industrial e política (ZAPA; COGOLLO, 2018). Para lidar com as incertezas do problema de decisão e eliminar as desvantagens do AHP, a abordagem integrada Fuzzy AHP é preferida na pesquisa de seleção de fornecedor (YADAV; SHARMA, 2015), pois é mais eficaz na representação dos julgamentos de prioridade dos tomadores de decisão.

Diante disso, neste artigo se propõe um novo sistema computacional baseado no método *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP), introduzido originalmente por Chang (1996), para seleção de fornecedor considerando riscos. Especificamente, busca-se: (i) avaliar as oportunidades e limitações da utilização do método FEAHP na seleção de fornecedor considerando riscos; e (ii) analisar o suporte do sistema desenvolvido através do caso de uma empresa brasileira de petróleo e gás natural *onshore*. Há três contribuições principais fornecidas neste artigo. Primeiro, é discutido o uso de uma abordagem integrada de tomada de decisão multicritério para resolver um problema importante nas atuais cadeias de suprimentos; segundo, é proposto um novo sistema computacional que oferece suporte à seleção de fornecedores de forma racional, flexível e ágil; e, terceiro, aplica-se a ferramenta computacional desenvolvida em um caso prático de seleção de fornecedor considerando riscos de uma petroleira, o que permite importantes análises empíricas para as áreas de Gestão da Cadeia de Suprimentos, Logística e Gestão de Operações.

Além desta introdução, este artigo possui mais cinco seções. Na próxima seção, é apresentada a revisão da literatura. Na seção 3.2.1.3, é discutida a metodologia da pesquisa. Na

seção 3.2.1.4, é apresentada a aplicação do sistema computacional baseado no método FEHP em uma empresa brasileira de petróleo e gás natural *onshore*. Os resultados empíricos da pesquisa são discutidos na seção 3.2.1.5. Finalmente, na seção 3.2.1.6, são apresentadas as conclusões, limitações e os trabalhos futuros.

3.2.1.2 Revisão da literatura

Nas primeiras duas décadas deste século, vários eventos destacaram as interdependências entre as empresas da cadeia de suprimentos e suas vulnerabilidades a gatilhos disruptivos com consequências dramáticas (JÜTTNER; PECK; CHRISTOPHER, 2003; SHEFFI, 2001). De acordo com Stecke e Kumar (2009) o risco de distúrbios e interrupções na cadeia de suprimentos aumentou nos últimos anos devido ao progresso da globalização, aumento da terceirização e um foco intensificado na eficiência e no *lean management*. Apesar do aumento dos riscos da cadeia de suprimentos, poucas empresas tomam medidas efetivas para gerenciá-los (FAHIMNIA *et al.*, 2015). Esta lacuna torna a Gestão de Riscos da Cadeia de suprimentos (GRCS) uma área atraente de pesquisa e prática profissional. Segundo Tang (2006) a GRCS resulta da coordenação ou colaboração entre os parceiros da cadeia de suprimentos para garantir rentabilidade e continuidade, englobando duas dimensões: riscos operacionais e de violação; e mitigação de riscos. De acordo com Peck (2006) a GRCS envolve todos os riscos do fluxo de finanças, informações, materiais e produtos, desde os fornecedores até a entrega do produto ao usuário final. De uma perspectiva orientada para o processo, muitos estudiosos definem a GRCS como uma estrutura que envolve a identificação, avaliação, mitigação e controle de possíveis interrupções na cadeia de suprimentos e seus impactos negativos (AQLAN; LAM, 2016; BUGERT; LASCH, 2018; FAISAL; BANWET; SHANKAR, 2007; FAN; STEVENSON 2018; HO *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2019; WAGNER; BODE, 2008).

Segundo Ho *et al.* (2015), os riscos de fornecedores atraíram significativa atenção nos estudos sobre a GRCS, com ênfase nos problemas de seleção de fornecedores. A seleção de fornecedores é considerada uma questão crítica, pois decisões erradas neste âmbito podem causar várias dificuldades relacionadas ao fornecimento, como atrasos nas entregas e altas taxas de defeitos (SMELTZER; SIFERD, 1998). Além disso, à medida que as cadeias de suprimentos se tornam globais, fatores externos, além de fatores internos, influenciam cada vez mais os riscos de fornecedor (TANG, 2006). Os riscos da seleção de fornecedores podem ser agrupados

em riscos recorrentes, se os eventos de risco forem frequentes, mas curtos, e riscos de interrupção, se os eventos de risco forem raros, mas longos (CHOPRA; REINHARDT; MOHAN, 2007; TOMLIN, 2006).

Para identificar e classificar os riscos de seleção de fornecedores propostos na literatura, são revisados vários artigos publicados em periódicos entre 2000 e 2020. Primeiro, os termos de pesquisa são definidos. As palavras-chave usadas no processo de pesquisa são *'supplier' or 'vendor' or 'provider' and 'risk' or 'risk type' or 'risk factor'*. Em segundo lugar, vários bancos de dados acadêmicos são usados para identificar artigos de periódicos, incluindo Emerald, Google Scholar, IEEExplore, ScienceDirect, Scopus, Springer, Taylor and Francis e Web of Science. Apenas artigos revisados por pares escritos em inglês e publicados em periódicos internacionais são selecionados. Não se restringe a lista de periódicos para garantir a captura de todos os estudos relevantes. Terceiro, as listas de referências dos artigos também são avaliadas para garantir que não haja outros artigos relevantes omitidos na pesquisa. Por fim, o conteúdo de cada artigo é totalmente revisado para garantir que se enquadre no contexto da seleção de fornecedores considerando riscos. Esta análise resulta em 26 artigos de periódicos. Para classificar esses artigos, é desenvolvida uma estrutura conceitual que integra diversos riscos de seleção de fornecedores, conforme mostra o Quadro 3. Sintetizando diversos pontos de vista da literatura, os riscos de seleção de fornecedores são agrupados em 11 tipos. Cada 'tipo de risco' estabelecido tem 'fatores de risco' associados, ou seja, vários eventos e situações que levam a um 'tipo de risco' específico (HO *et al.*, 2015).

Quadro 3 - Artigos sobre riscos de seleção de fornecedores

Tipo de risco	Fator de risco	Referência(s)
1. <i>Qualidade</i>	Má qualidade	ER KARA; FIRAT, 2018; FANG; LIAO; XIE, 2016; TALLURI; NARASIMHAN, 2003; TALLURI; NARASIMHAN, 2006
2. <i>Entrega</i>	Atraso na entrega	ER KARA; FIRAT, 2018; FANG; LIAO; XIE, 2016; TALLURI; NARASIMHAN, 2003; TALLURI; NARASIMHAN, 2006
	Baixa velocidade de entrega	MICHELI; CAGNO; ZORZINI, 2008
3. <i>Desempenho</i>	Capacidade incerta	KUMAR; VRAT; SHANKAR, 2006; VISWANADHAM; SAMVEDI, 2013
	Falha do fornecedor	KULL; TALLURI, 2008; RAVINDRAN <i>et al.</i> , 2010; RUIZ-TORRES; MAHMOODI; ZENG, 2013
	Mau desempenho	MICHELI; CAGNO; ZORZINI, 2008

	Relutância em cooperar e falta de envolvimento do fornecedor	CHAUDHURI; MOHANTY; SINGH, 2013; MICHELI; CAGNO; ZORZINI, 2008
	Restrição de oferta, restrição entre comprador-fornecedor e perfil ruim do fornecedor	LEE, 2009
	Interrupção do fornecimento	FANG; LIAO; XIE, 2016; MEENA; SARMAH; SARKAR, 2011; SAWIK, 2014; WU; OLSON, 2010
	Serviço ruim do fornecedor	CHEN; WU, 2013; WU; CHOI; RUNGTUSANATHAM, 2010
	Baixa confiabilidade do fornecedor	YOON <i>et al.</i> , 2018
	Baixa capacidade de fabricação, alto índice de defeitos, falta de garantia e serviço pós-venda e falta de planos para lidar com interrupções	ER KARA; FIRAT, 2018
4. <i>Localização</i>	Localização geográfica dispersa	CHAN; KUMAR, 2007
5. <i>Flexibilidade</i>	Falta de/ou baixa flexibilidade do fornecedor	ER KARA; FIRAT, 2018; JHARKHARIA; SHANKAR, 2007
6. <i>Preço</i>	Preço alto do fornecedor	ER KARA; FIRAT, 2018; MICHELI; CAGNO; ZORZINI, 2008
7. <i>Tecnologia</i>	Riscos tecnológicos	ER KARA; FIRAT, 2018; MICHELI; CAGNO; ZORZINI, 2008; RAO <i>et al.</i> , 2017
8. <i>Financeiro</i>	Riscos financeiros	MICHELI; CAGNO; ZORZINI, 2008
	Estresse financeiro do fornecedor	LOCKAMY; MCCORMACK, 2010
	Má condição financeira do fornecedor	ER KARA; FIRAT, 2018
9. <i>Sustentabilidade econômica</i>	Riscos econômicos	MOGHADDAM, 2015; RAO <i>et al.</i> , 2017
	Risco de sustentabilidade econômica	JAIN; SINGH, 2020
10. <i>Sustentabilidade Ambiental</i>	Risco ambiental	JAIN; SINGH, 2020; RAO <i>et al.</i> , 2017
	Defeito de projeto ambiental, alta emissão de gases de efeito estufa, poluição, não conformidade ambiental e desgaste natural	YAZDANI <i>et al.</i> , 2019
11. <i>Sustentabilidade social</i>	Riscos sociais	RAO <i>et al.</i> , 2017; ZIMMER <i>et al.</i> , 2017
	Risco de sustentabilidade social	JAIN; SINGH, 2020

Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com o Quadro 3, os ‘tipos de risco’ relacionados ao *desempenho, entrega, qualidade e sustentabilidade* atraíram atenção importante na literatura, sendo considerados como os principais critérios na seleção de fornecedores. Os ‘fatores de risco’ mais significativos são *má qualidade, atraso na entrega, interrupção do fornecimento, falha do fornecedor e riscos tecnológicos*, que podem ser definidos como os subcritérios mais relevantes na seleção de fornecedores consoante a revisão de literatura supracitada.

Após determinar os critérios [tipos de risco] e subcritérios [fatores de risco], os tomadores de decisão devem escolher um método apropriado e sistemático para avaliar e selecionar

fornecedores alternativos. Muitos estudos revisam a literatura sobre modelos e métodos de seleção de fornecedores (CHAI; LIU; NGAI, 2013; CHAI; NGAI, 2020; KONYS, 2019; ZIMMER; FRÖHLING; SCHULTMANN, 2016). Modelos de tomada de decisão multicritério [em inglês *Multicriteria Decision-Making* (MCDM) ou *Multicriteria Decision Aiding/Analysis* (MCDA)], Programação Matemática (PM) e técnicas de Inteligência Artificial (IA) são algumas das abordagens mais populares (CHAI; LIU; NGAI, 2013; CHAI; NGAI, 2020; KAFA; JAEGLER; SARKIS, 2020). Os métodos MCDM/A fornecem estruturas metodológicas para sistemas de apoio à decisão; PM é usada para otimizar ou avaliar a seleção de fornecedores; IA identifica soluções aproximadas para problemas de otimização complexos (KAFA; JAEGLER; SARKIS, 2020). As abordagens MCDM/A são as mais populares e, dentro deste grupo, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é o método mais aplicado (CHAI; NGAI, 2020).

O AHP é amplamente utilizado porque é eficaz na avaliação de critérios de decisão qualitativos e quantitativos (YADAV; SHARMA, 2015). Ele pode ser usado sozinho ou combinado com outros métodos. A interação e as relações interdependentes entre os critérios de avaliação são críticas e devem ser consideradas para selecionar adequadamente um fornecedor. A hierarquia dos critérios de decisão é o foco de uma comparação em pares do AHP [em inglês *pair-wise comparison*], que converte as preferências humanas entre as alternativas disponíveis em "igual, não muito forte, forte, muito forte e extremamente forte" (SAATY, 1980). Embora a escala nítida/exata do AHP tenha as vantagens de simplicidade e facilidade de uso, ela é incapaz de considerar a incerteza associada à avaliação subjetiva e individual do tomador de decisão. Portanto, para lidar com as incertezas do problema de decisão e eliminar as desvantagens do AHP, o Fuzzy AHP é o método preferido em estudos de seleção de fornecedores (YADAV; SHARMA, 2015). A principal motivação por trás da incorporação da Teoria dos Conjuntos Fuzzy no AHP original é baseada no argumento de que os julgamentos e preferências humanas não podem ser representadas com precisão por números nítidos devido à incerteza inerente à percepção humana (AHMED; KILIC, 2019). A Teoria dos Conjuntos Fuzzy implementa classes de dados com 'limites pouco claros', ou seja, 'limites Fuzzy' (CERQUEIRA; BERTONI; PIRES, 2020).

Há várias abordagens nos estudos de seleção de fornecedores que utilizam os métodos AHP e Fuzzy de forma individual ou integrada (BRUNO *et al.*, 2012; CHAN; CHAN, 2010; KUMAR; ROY, 2011; REZAEI; ORTT, 2013, YU; GOH; LIN, 2012). Porém, a literatura sobre a utilização dos métodos AHP e Fuzzy no problema de seleção de fornecedores que considera

riscos é mais limitada. No trabalho de Chan e Kumar (2007), a abordagem integrada Fuzzy AHP é adotada para avaliar os critérios de decisão relevantes, incluindo fatores de risco, no desenvolvimento de um sistema global de seleção de fornecedores. Em Viswanadham e Samvedi (2013), os métodos Fuzzy, AHP e TOPSIS [em português, TOPSIS significa ‘Técnica de Ordenamento por Preferência de Semelhança com a Solução Ideal’] são usados na seleção de fornecedores com base no ecossistema da cadeia de suprimentos, desempenho e critérios de risco.

Na pesquisa de Lee (2009), o método integrado Fuzzy AHP é aplicado ao conceito de benefícios, oportunidades, custos e riscos para avaliar diversos aspectos dos fornecedores. Em Zimmer *et al.* (2017), a abordagem do modelo combinado Fuzzy-AHP-Input/Output é usada para avaliar os riscos sociais da seleção de fornecedores na indústria automotiva alemã. Finalmente, em Awasthi, Govindan e Gold (2008) uma abordagem integrada Fuzzy-AHP-VIKOR [em português, VIKOR significa ‘Otimização Multicritério e Solução de Compromisso’] é usada para selecionar fornecedores globais sustentáveis.

Com base na revisão da literatura apresentada nesta seção, são identificadas algumas observações importantes sobre o problema de seleção de fornecedor considerando riscos: a. os ‘tipos de risco’ [critérios de decisão] e ‘fatores de risco’ [subcritérios de decisão] proeminentes na literatura referem-se, principalmente, a aspectos de eficiência operacional do fornecedor; b. a abordagem integrada Fuzzy AHP ajuda a desenvolver as capacidades dos métodos tradicionais AHP e Fuzzy, superando algumas de suas fraquezas individuais; c. há pouca literatura sobre o uso do Fuzzy AHP integrado na avaliação de risco de fornecedor, bem como sobre a viabilidade de sua implementação em um ambiente de manufatura prático; e d. não há discussão suficiente sobre o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para apoiar a avaliação e seleção de fornecedor considerando riscos. Assim, até onde se tem conhecimento, este artigo é um esforço original de avaliação de fornecedores no contexto real dos riscos inerentes a uma cadeia de suprimentos por meio de uma solução computacional que integra as poderosas técnicas AHP e Fuzzy.

3.2.1.3 Metodologia

O sistema computacional para seleção de fornecedor considerando riscos proposto neste artigo é baseado no método *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP) de Chang

(1996). Embora o primeiro algoritmo Fuzzy AHP integrado tenha sido introduzido por Van Laarhoven e Pedrycz (1983), outros autores apresentam diferentes abordagens para lidar com este método, como Buckley (1985), Boender, De Graan e Lootsma (1989) e Wang, Luo e Hua (2008). No entanto, a abordagem da ‘Análise de Extensão Fuzzy’ apresentada por Chang (1996) é a mais bem-sucedida, pois possui um algoritmo que requer menos esforço computacional e tem mais flexibilidade de implementação prática em comparação com os algoritmos propostos por Laarhoven e Pedrycz (1983), Buckley (1985), Boender, De Graan e Lootsma (1989) e Wang, Luo e Hua (2008).

O método de Chang (1996) usa NFT para a comparação pareada no AHP e consiste em três partes essenciais. Na primeira, a abordagem AHP é usada para estruturar o problema em uma hierarquia. Na segunda, é realizada a ‘Análise de Extensão Fuzzy’, a partir da qual são obtidas matrizes de julgamento normalizadas. Por fim, a defuzzificação e/ou classificação dos pesos é realizada através do princípio de comparação de números fuzzy com base no grau de possibilidade.

Considere que $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ é um conjunto de objetos e $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$ é um conjunto de objetivos. De acordo com o método de ‘Análise de Extensão Fuzzy’ (CHANG, 1996), cada objeto é tomado e a análise de extensão para cada objetivo, g_i , é realizada, respectivamente. Portanto, m valores de análise de extensão para cada objeto podem ser obtidos, com os seguintes sinais: $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, M_{g_i}^3, \dots, M_{g_i}^m$ com $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Todos $M_{g_i}^j$ são NFT, ou seja, $j = 1, 2, 3, \dots, m$. As etapas da ‘Análise de Extensão’ podem ser estabelecidas da seguinte forma:

- Etapa 1. A extensão sintética fuzzy em relação ao i th objeto é definida de acordo com a Equação (12):

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (12)$$

Para obter $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$, a operação de adição fuzzy dos valores da análise de extensão m para uma matriz particular é realizada conforme a Equação (13):

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (13)$$

E para obter $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$ o operador de adição fuzzy dos valores M_{gi}^j é realizado com a Equação (14):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (14)$$

Então, o inverso do vetor calculado é obtido de acordo com a Equação (15):

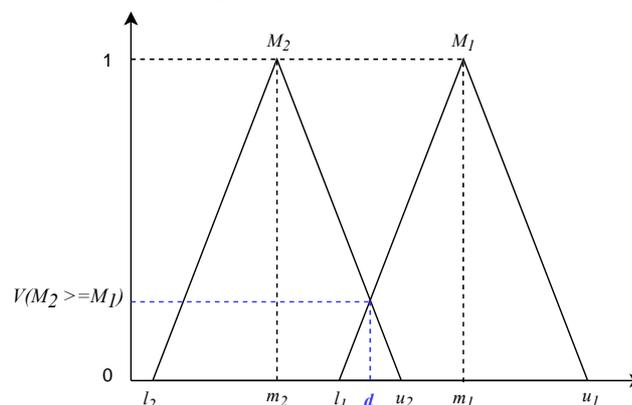
$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (15)$$

- Etapa 2. O grau de possibilidade de $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ pode ser definido com a Equação (16):

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (16)$$

O resultado da Equação (16) corresponde ao ponto de maior interseção entre M_1 e M_2 . Essa interseção é representada pelo "ponto d " da Figura 19. Porém, para resolver a Equação (16) os cálculos estabelecidos na Equação (17) são necessários:

Figura 19 - Interseção entre M_1 e M_2



Fonte: Chang (1996).

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (17)$$

- Etapa 3. O grau de possibilidade de um número fuzzy convexo ser maior do que k números fuzzy convexos $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$ pode ser definido pela Equação (18):

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ e } (M \geq M_2) \text{ e } \dots \text{ e } (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i) \end{aligned} \quad (18)$$

Considerando que a Equação (19) é:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (19)$$

Para $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$, o peso do vetor é dado pela Equação (20):

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (20)$$

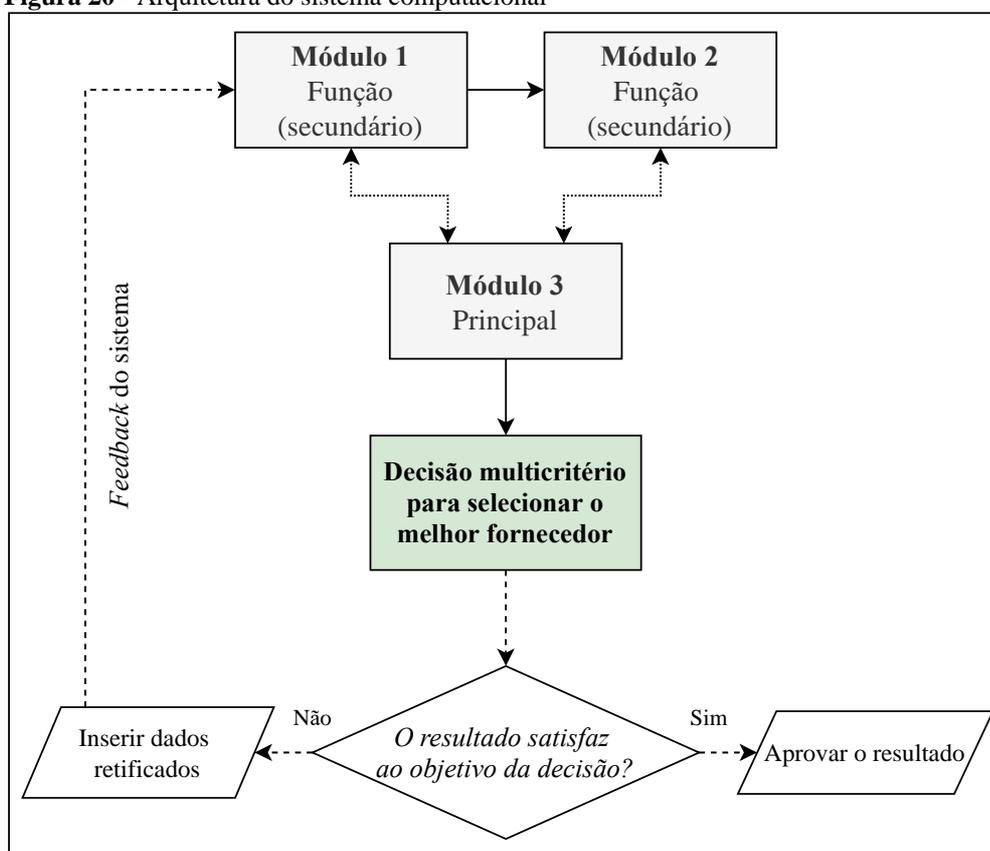
Onde $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ são n elementos.

- Etapa 4. Finalmente, os vetores de peso normalizados são calculados na Equação (21), onde W é um número não fuzzy:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (21)$$

Para automatizar o cálculo do método FEAHP de Chang (1996), é desenvolvido um sistema computacional, em linguagem MATLAB®, versão MATLAB® 2020a, The MathWorks, Inc. Este sistema é estruturado em três módulos interativos e interdependentes. Os *módulos 1 e 2* representam códigos chamados ‘funções’ e *módulo 3* corresponde ao ‘programa principal’. Na execução da programação desenvolvida, os *módulos 1 e 2* são acionados pelo *módulo 3*, de acordo com a arquitetura do sistema mostrada na Figura 20.

Figura 20 - Arquitetura do sistema computacional



Fonte: Autoria própria (2021).

O *módulo 1* converte as matrizes de comparação pareada do(s) decisor(es) e aplica o método de ‘Análise de Extensão Fuzzy’ para cada nível hierárquico do problema de decisão. No *módulo 2*, os resultados do *módulo 1* são estruturados em uma hierarquia geral do problema de decisão. Para isso, o *módulo 2* executa diversas operações matemáticas que integram os resultados gerais do problema decisório. O *módulo 3* corresponde a interface de comunicação do sistema com o usuário [analista de decisão]; inicialmente, ele é alimentado com informações reais do problema de decisão, ou seja, há a inserção da quantidade de critérios, subcritérios e alternativas; depois disso, ele reúne todos os valores obtidos nos *módulos 1* e *2* e calcula o valor final da ‘Análise de Extensão Fuzzy’. A interação entre os três módulos do sistema fornece como saída principal a decisão multicritério mais adequada, ou seja, o melhor fornecedor entre as alternativas de fornecedores disponíveis. Se a saída do sistema atender ao objetivo geral de decisão, o resultado é aprovado pelo(s) tomador(es) de decisão; caso contrário, a estrutura do problema de decisão e seus dados podem ser retificados e, conseqüentemente, reprocessados [feedback do sistema].

3.2.1.4 Aplicação do sistema computacional FEAHP em um estudo de caso de risco de seleção de fornecedor

Uma empresa independente de E&P de petróleo e gás natural *onshore* brasileira é especializada na operação de campos maduros e/ou economicamente marginais por meio de metodologias inovadoras de recuperação de hidrocarbonetos e custos operacionais eficientes. O objetivo de longo prazo dessa empresa é ser a operadora de petróleo e gás natural *onshore* independente mais segura, eficiente e lucrativa do Brasil. Para tanto, a companhia estabeleceu em suas novas diretrizes estratégicas um plano global de desenvolvimento de fornecedores, no qual o problema da seleção de fornecedor se torna de vital importância.

No entanto, o atual processo de determinação de fornecedores dessa empresa é frequentemente realizado de forma intuitiva e com procedimentos operacionais frágeis em termos de padronização. Os executivos e gerentes da empresa reconhecem que esta prática atual de seleção de fornecedores consome muito esforço e tempo da equipe de compras, pois vários riscos devem ser considerados ao se determinar o fornecedor prioritário. Portanto, a estratégia de desenvolvimento de fornecedores globais desejada pela empresa depende diretamente da decisão de selecionar os melhores fornecedores considerando múltiplos critérios.

É neste contexto em que se aplica o sistema computacional baseado no método FEAHP para selecionar o melhor fornecedor para um componente crítico da referida empresa. Para isso, conta-se com a participação de uma equipe de decisores da área de gestão de compras e suprimentos da empresa focal, com experiência média de mais de nove anos. Essa equipe desenvolve atividades de gerência, controle e supervisão de materiais e suprimentos para produção e operação.

A participação dos decisores se dá através de uma série de sessões de *brainstorming/brainwriting*, *entrevistas* e *questionários*. Primeiramente, através das sessões de *brainstorming/brainwriting* e *entrevistas* é obtido o consentimento e consenso de todos os decisores para identificar os principais critérios e subcritérios relevantes na seleção de fornecedor considerando riscos. Posteriormente, por meio dos *questionários* é obtido o consentimento e consenso de todos os decisores para avaliar, comparativamente, os critérios, subcritérios e alternativas de fornecedores predefinidos.

Tomando como ponto de partida os ‘tipos de risco’ e ‘fatores de risco’ típicos para a maioria das empresas, conforme apresentado no Quadro 3, os decisores identificaram os

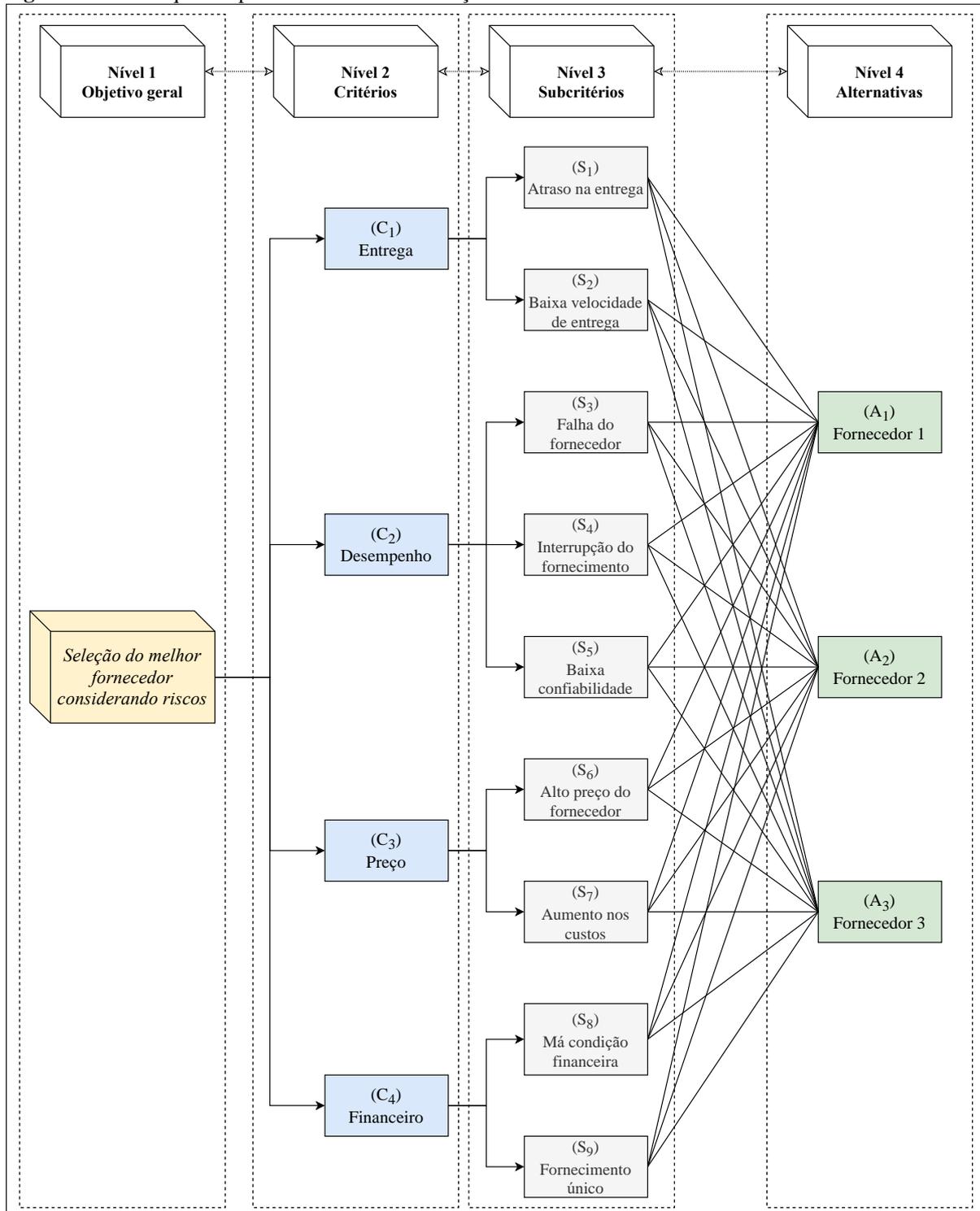
seguintes critérios (C_x) e subcritérios (S_x) como os mais importantes no processo de seleção de fornecedores da empresa: C_1 entrega [S_1 - atraso na entrega; S_2 - baixa velocidade de entrega], C_2 desempenho [S_3 - falha do fornecedor; S_4 - interrupção do fornecimento; S_5 - baixa confiabilidade do fornecedor], C_3 preço [S_6 - alto preço do fornecedor; S_7 - aumento nos custos do fornecedor] e C_4 financeiro [S_8 - má condição financeira do fornecedor; S_9 - fornecimento único que causa prejuízo financeiro ao comprador]. Quase todos esses critérios e subcritérios identificados pela empresa são considerados em pesquisas anteriores da área, com exceção dos subcritérios S_7 e S_9 . Portanto, os ‘fatores de risco’ específicos representados por S_7 e S_9 podem ser considerados exclusivos da empresa brasileira de petróleo e gás natural estudada.

A partir dos critérios e subcritérios de seleção de fornecedores, é estruturada a hierarquia do problema de decisão, conforme mostra a Figura 21. Os fornecedores alternativos são identificados como A_1 , A_2 , e A_3 . Assim, na estruturação hierárquica do problema de seleção, se define o objetivo geral no primeiro nível, os critérios no segundo nível, os subcritérios no terceiro nível e os fornecedores alternativos no quarto nível. Após o desenvolvimento da hierarquia do problema, os diferentes pesos de prioridade de cada critério, subcritério e fornecedor alternativo são calculados usando a abordagem computacional do método FEHP.

A comparação da importância dos critérios, subcritérios e fornecedores alternativos em relação a outros é realizada com o auxílio dos *questionários* aplicados junto aos decisores da empresa focal. Os *questionários* tornam mais fácil responder a perguntas de comparação entre pares. A preferência de uma medida em relação a outra é decidida pelo conhecimento e pela experiência dos decisores da companhia. Inicialmente, esses decisores comparam os critérios em relação ao objetivo geral e, em seguida, os subcritérios em relação aos critérios. Ao final, eles comparam o fornecedor alternativo em relação a cada subcritério.

As variáveis linguísticas são utilizadas para fazer as comparações entre pares. Essas variáveis linguísticas são então convertidas em NFT, conforme mostra o Quadro 4. Ou seja, para cada valor numérico das matrizes de comparação pareada, três valores são associados que correspondem ao ‘valor inferior’, ‘valor médio’ e ‘valor superior’.

Figura 21 - Hierarquia do problema de risco de seleção de fornecedor do caso estudado



Fonte: Autoria própria (2021).

Quadro 4 - Variáveis linguísticas com valores fuzzy triangulares correspondentes

Variáveis linguísticas	Valor fuzzy triangular correspondente	Valor fuzzy triangular correspondente ao inverso
Igual	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Não muito forte	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Forte	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Muito Forte	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Extremamente forte	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)

Fonte: Autoria própria (2021).

Para definir os diferentes pesos de prioridade de cada critério, subcritério e fornecedor alternativo, uma primeira matriz de avaliação fuzzy é construída pelo julgamento entre pares dos critérios em relação ao objetivo geral, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Avaliação fuzzy dos critérios em relação ao objetivo geral

G_g	C_1	C_2	C_3	C_4	W_o
C_1	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	0
C_2	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(9, 9, 9)	(9, 9, 9)	1
C_3	(1/8, 1/7, 1/6)	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	0
C_4	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	0

Fonte: Autoria própria (2021).

Os valores da extensão sintética fuzzy em relação a cada um dos critérios são calculados usando a Equação (12) e as operações algébricas fuzzy definidas nas Equações (13-15), de acordo com S_1, S_2, S_3 , e S_4 :

$$S_1 = (12; 14; 16) \otimes \left(\frac{1}{40,638}; \frac{1}{38,565}; \frac{1}{36,513} \right) = (0,2952; 0,363; 0,438)$$

$$S_2 = (20; 20; 20) \otimes \left(\frac{1}{40,638}; \frac{1}{38,565}; \frac{1}{36,513} \right) = (0,4921; 0,5186; 0,5477)$$

$$S_3 = (2,236; 2,253; 2,277) \otimes \left(\frac{1}{40,638}; \frac{1}{38,565}; \frac{1}{36,513} \right) = (0,055; 0,0584; 0,0623)$$

$$S_4 = (2,277; 2,311; 2,361) \otimes \left(\frac{1}{40,638}; \frac{1}{38,565}; \frac{1}{36,513} \right) = (0,056; 0,0599; 0,0646)$$

O grau de possibilidade de S_i sobre S_j ($i \neq j$) é determinado usando a Equação (17):

$$V(S_1 \geq S_2) = 0, V(S_1 \geq S_3) = 1, V(S_1 \geq S_4) = 1, V(S_2 \geq S_1) = 1, V(S_2 \geq S_3) = 1, V(S_2 \geq S_4) = 1, V(S_3 \geq S_1) = 0, V(S_3 \geq S_2) = 0, V(S_3 \geq S_4) = 0,8103, V(S_4 \geq S_1) = 0, V(S_4 \geq S_2) = 0, V(S_4 \geq S_3) = 1$$

Utilizando a Equação (19), o grau mínimo de possibilidade é estabelecido como:

$$d'(S_1 \text{ ou } C_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4) = \min(0; 1; 1) = 0$$

$$d'(S_2 \text{ ou } C_2) = V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4) = \min(1; 1; 1) = 1$$

$$d'(S_3 \text{ ou } C_3) = V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4) = \min(0; 0; 0,8103) = 0$$

$$d'(S_4 \text{ ou } C_4) = V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3) = \min(0; 0; 1) = 0$$

Portanto, com a Equação (20) o vetor de peso é dado como $W' = (0; 1; 0; 0)$. Após o processo de normalização, o vetor de peso em relação aos critérios de decisão $S_1(C_1), S_2(C_2), S_3(C_3)$ e $S_4(C_4)$ é representado na Equação (21) como $W_o = (0; 1; 0; 0)^T$.

Posteriormente, os diferentes subcritérios são comparados separadamente de acordo com cada um dos critérios, seguindo o mesmo procedimento descrito acima. A título de exemplo, a matriz de avaliação fuzzy dos subcritérios (S_1, S_2, S_3) em relação ao critério C_1 e os respectivos vetores de ponderação são apresentados na Tabela 6. O procedimento de avaliação fuzzy dos demais subcritérios (S_4, \dots, S_9) em relação aos critérios C_2, C_3 , e C_4 é o mesmo.

Tabela 6 - Avaliação fuzzy dos subcritérios em relação ao critério C_1

C_1	S_1	S_2	S_3	W_{c1}
S_1	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	0,799
S_2	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)	(9, 9, 9)	0,2
S_3	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)	0

Fonte: Autoria própria (2021).

Da mesma forma, são determinadas as matrizes de avaliação fuzzy das alternativas de decisão e seus vetores de peso em relação aos subcritérios correspondentes. Como exemplo, a Tabela 7 mostra a matriz de avaliação fuzzy das alternativas (A_1, A_2, A_3) em relação ao subcritério S_1 e seus vetores de peso. O procedimento de avaliação fuzzy das alternativas de decisão (A_1, A_2, A_3) em relação aos demais subcritérios (S_2, \dots, S_9) também é o mesmo.

Tabela 7 - Avaliação fuzzy das alternativas em relação ao subcritério S_1

S_1	A_1	A_2	A_3	W_{S1}
A_1	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	0,536
A_2	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1/8, 1/7, 1/6)	0
A_3	(1/6, 1/5, 1/4)	(6, 7, 8)	(1, 1, 1)	0,463

Fonte: Autoria própria (2021).

Neste ponto, com base nos valores obtidos, é realizada a combinação sumária dos pesos de prioridade das alternativas de fornecedores em relação a cada um dos critérios. Para isso, são somados os pesos do fornecedor, que são multiplicados pelos pesos dos subcritérios correspondentes. Para exemplificar esse procedimento, apresenta-se os resultados da Tabela 8. A mesma conduta é realizada no cálculo dos pesos das alternativas em relação aos demais subcritérios (S_4, \dots, S_9) dos critérios C_2, C_3 , e C_4 .

Tabela 8 - Combinação dos pesos de prioridade: subcritérios do critério C_1

Pesos	S_1	S_2	S_3	Pesos de prioridade das alternativas
	0,799	0,2	0	
Alternativas				
A_1	0,536	0,135	1	0,4552
A_2	0	0,15	0	0,03
A_3	0,463	0,713	0	0,5125

Fonte: Autoria própria (2021).

Por fim, os pesos finais de prioridade de cada fornecedor são calculados por meio da soma dos pesos do fornecedor multiplicados pelos pesos dos critérios correspondentes. A alternativa que obteve o maior peso de prioridade é definida como o melhor fornecedor para a empresa estudada. Os resultados deste procedimento são mostrados na Tabela 9.

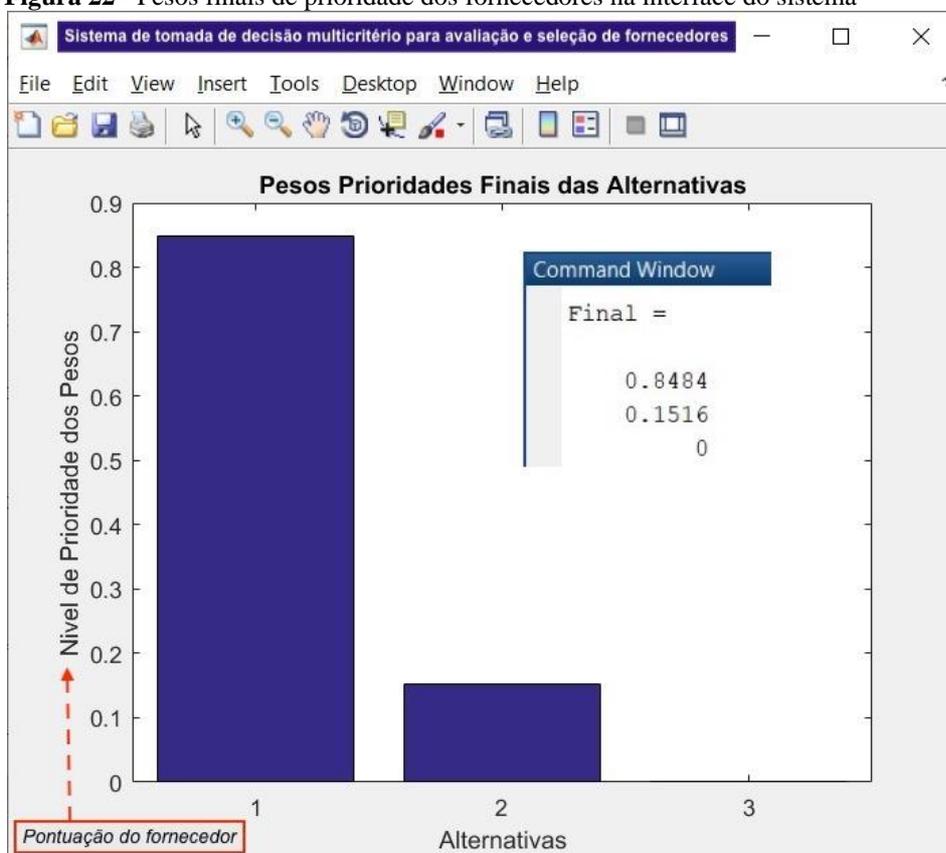
Tabela 9 - Combinação sumária de ponderações de prioridade: critérios do objetivo geral

Pesos dos critérios	C_1	C_2	C_3	C_4	Pesos de prioridade das alternativas
	0	1	0	0	
Alternativas					
A_1	0,4552	0,848	1	0,135	0,848
A_2	0,03	0,151	0	0,15	0,151
A_3	0,5125	0	0	0,713	0

Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com a pontuação final apresentada na Tabela 9, o melhor fornecedor para a empresa focal é o A_1 que obteve o maior peso de prioridade das alternativas [0,848], seguido do fornecedor alternativo A_2 [0,151]. A Figura 22 mostra este resultado na interface do sistema computacional desenvolvido.

Figura 22 - Pesos finais de prioridade dos fornecedores na interface do sistema



Fonte: Autoria própria (2021).

3.2.1.5 Resultados e discussões

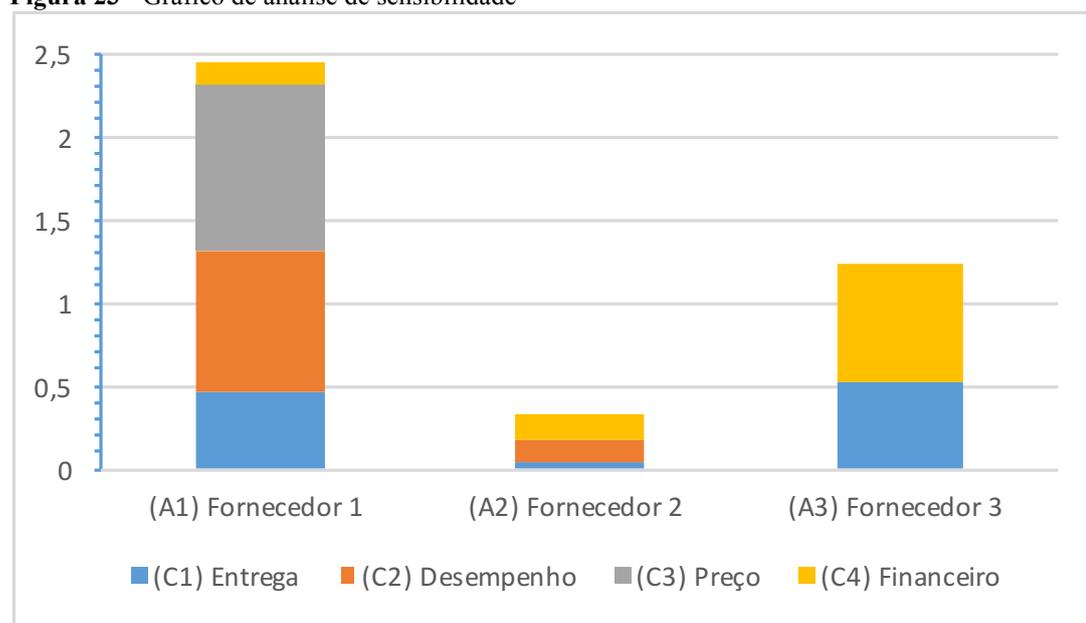
De acordo com os resultados da Tabela 9, os pesos finais de prioridade dos diferentes critérios mostram que o (C_2) *desempenho* do fornecedor teve a maior importância. Por se tratar de um suprimento crítico para a empresa destinatária, qualquer falha do fornecedor, interrupção do fornecimento ou baixa confiabilidade dos produtos/serviços fornecidos pode afetar as operações industriais e o valor entregue ao cliente final. Este resultado da avaliação dos decisores do caso estudado corrobora a validação do *desempenho* como um critério-chave para o problema de risco de seleção de fornecedor da maioria das empresas, conforme descrito na revisão da literatura. De fato, os fornecedores são organizações externas ao fabricante ou parceiros de negócios e, na verdade, seu desempenho decidirá o desempenho futuro de toda a cadeia de suprimentos (CHAN; KUMAR, 2007).

Uma constatação que contribui para o entendimento da importância do critério (C_2) *desempenho* é o alto peso de prioridade de um de seus subcritérios, o subcritério '(S_5) baixa confiabilidade do fornecedor' [que obteve peso igual a 1]. A interpretação desse resultado é que

o componente a ser fornecido à empresa focal deve atender estritamente aos requisitos de segurança e manutenibilidade intrínsecos à indústria de exploração e produção de petróleo e gás natural. Em relação aos outros subcritérios, observa-se que os subcritérios ‘(S_6) alto preço do fornecedor’ e ‘(S_9) fornecimento único’ também obtiveram pesos de alta prioridade [peso igual a 1 para cada]: o primeiro pelo risco de aumentar os custos de produção e operação do comprador, e o segundo pelo risco de aumentar a dependência com o fornecedor, diminuindo o poder de barganha do comprador. Além disso, o fato de o subcritério ‘(S_9) fornecimento único’ não ter sido considerado na literatura anterior como um ‘fator de risco’ típico, revelando-se exclusivo da empresa estudada, permite inferir que determinados subcritérios comuns à maioria das empresas podem não apresentar resultados típicos para outras empresas, conforme é evidenciado no caso estudado.

A Figura 23 mostra o gráfico da análise de sensibilidade em relação ao objetivo geral, no qual é possível avaliar os fornecedores em relação a cada um dos quatro critérios. Fica claro que o fornecedor A_3 tem maior peso de prioridade em relação aos critérios (C_1) *entrega* e (C_4) *financeiro*, enquanto que o fornecedor A_1 tem maior peso em relação aos critérios (C_2) *desempenho* e (C_3) *preço*. Portanto, a análise de sensibilidade confirma A_1 como o melhor fornecedor alternativo para a empresa focal.

Finalmente, constata-se que o sistema computacional desenvolvido é capaz de dar suporte adequado a todas as etapas de cálculo do método FEHP aplicado no estudo de caso de seleção de fornecedor considerando riscos. Ele fornece a modelagem da hierarquia do problema de decisão de forma eficiente, computa a ‘Análise de Extensão Fuzzy’ sem falhas e/ou erros e produz classificações de peso de prioridade final de todos os critérios, subcritérios e alternativas avaliadas. A adoção desse sistema promove o suporte automatizado à tomada de decisão para a escolha do melhor fornecedor da empresa focal de forma racional, flexível e ágil. Ao aplicar a abordagem computacional FEHP, os decisores da empresa perceberam, qualitativamente, uma redução pontual no esforço e tempo normalmente necessários para selecionar um fornecedor prioritário. Isso permite hipotetizar que o uso continuado do novo sistema pela empresa estudada pode promover a melhoria da avaliação geral de risco do fornecedor, a redução do *lead time* e dos custos de aquisição de materiais e equipamentos industriais, além de um melhor desempenho de toda a cadeia de suprimentos.

Figura 23 - Gráfico de análise de sensibilidade

Fonte: Autoria própria (2021).

3.2.1.6 Conclusões, limitações e trabalhos futuros

Os riscos do fornecedor têm atraído atenção significativa na literatura sobre a GRCS. No entanto, a literatura sobre o problema de riscos de seleção de fornecedor é limitada. Além disso, não há pesquisas suficientes sobre modelos computacionais para seleção de fornecedor considerando riscos e suas viabilidades de implementação prática em ambientes de operação e manufatura. Neste estudo é proposto um novo sistema computacional baseado no método FEHP para a seleção de fornecedor considerando riscos. Busca-se avaliar as oportunidades e limitações da utilização do método FEHP na seleção de fornecedor considerando riscos e analisar o suporte do sistema desenvolvido através do estudo de caso de uma empresa brasileira de petróleo e gás natural.

A abordagem computacional baseada no FEHP automatiza a seleção de fornecedor considerando riscos ao determinar uma hierarquia de critérios, subcritérios e alternativas. Em primeiro lugar, os critérios e subcritérios específicos para o problema de seleção são identificados pelos tomadores de decisão da empresa focal usando a literatura relevante como ponto de partida. Em seguida, os decisores realizam uma comparação entre pares dos requisitos predefinidos usando *questionários* com escala linguística. Esta avaliação é então quantificada pelo cálculo dos pesos de prioridade dos critérios, subcritérios e alternativas usando o FEHP. A melhor alternativa de decisão é aquela com a maior pontuação final.

Aplica-se o sistema computacional FEAHP para apoiar a seleção de fornecedor considerando riscos de uma empresa brasileira de petróleo e gás natural *onshore*. Os decisores identificaram quatro critérios, nove subcritérios e três fornecedores alternativos como os mais importantes no processo de seleção de fornecedores da empresa. Após o cálculo geral dos pesos finais de prioridade, se descobre que o critério (C_2) *desempenho* do fornecedor é o mais importante. Essa descoberta está alinhada com a literatura da área, que também considera o *desempenho* como um critério-chave em relação aos riscos de seleção de fornecedor da maioria das empresas. Os subcritérios ‘(S_5) baixa confiabilidade do fornecedor’, ‘(S_6) alto preço do fornecedor’ e ‘(S_9) fornecimento único’ obtiveram os pesos de prioridade mais altos. Por sua vez, o subcritério ‘(S_9) fornecimento único’ apresenta importância ímpar para a empresa estudada, distinguindo-se dos demais subcritérios típicos da maioria das empresas. O fornecedor A_1 é o melhor fornecedor para a empresa focal por ter obtido o maior peso de prioridade [0,848], seguido do fornecedor alternativo A_2 [0,151]. A análise de sensibilidade mostra que o fornecedor A_1 possui o maior peso prioritário em relação aos critérios (C_2) *desempenho* e (C_3) *preço*, confirmando-o como a melhor alternativa para a empresa estudada.

A abordagem computacional FEAHP automatiza de forma racional, flexível e ágil o processo de seleção de fornecedor, conforme evidenciado qualitativamente no estudo de caso. A partir disso, é formulada a hipótese de que o uso deste sistema pode fornecer *insights* úteis na escolha dos melhores fornecedores em um ambiente de risco e incerteza, maximizando o desempenho da cadeia de suprimentos. Esta pesquisa apresenta algumas limitações. Como a análise empírica se baseia apenas no estudo de caso de uma petroleira brasileira, há restrições na generalização dos resultados, ou seja, as conclusões do trabalho não podem ser estendidas a outras empresas. Além disso, a metodologia de avaliação dos principais critérios, subcritérios e fornecedores alternativos é baseada no conhecimento e na experiência dos decisores da empresa; portanto, podem haver ruído e distorção na percepção dos respondentes sobre a precisão das informações fornecidas.

Pesquisas futuras podem examinar uma amostra maior de empresas, incluindo vários tipos de indústria, ou realizar estudos empíricos em outros países em desenvolvimento. Além disso, critérios de risco e incerteza de vários escalões da cadeia de suprimentos, bem como critérios de risco socioambiental emergentes podem ser adicionados ao modelo proposto. Por fim, um trabalho adicional pode ser feito para analisar a eficiência econômica da abordagem computacional FEAHP e para compará-la ou integrá-la a métodos alternativos de seleção de fornecedor baseados em MCDM/A, PM e IA.

3.3 ARTIGO 3 - PROPOSIÇÃO E TESTE SISTÊMICO DA ESTRUTURA HOLÍSTICA COM SUPORTE COMPUTACIONAL

3.3.1 Uma Estrutura Holística para Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos com Suporte de um Sistema Computacional Fuzzy Extended AHP: o Caso dos Riscos Típicos e Sustentáveis da Indústria Brasileira de Petróleo e Gás Natural *Onshore*¹⁴

Resumo: as cadeias de suprimentos globais têm se tornado complexas e vulneráveis a riscos e incertezas crescentes com consequências drásticas para a sociedade. Neste artigo, propõe-se uma estrutura holística baseada na abordagem computacional do método *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP) para Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos (ARCS). Especificamente, busca-se: i. identificar e avaliar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos; ii. priorizar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos usando um índice integral de risco (*IIR*); e, iii. definir o grau geral de risco da cadeia de suprimentos. O FEAHP é um método híbrido fundamentado em *Multicriteria Decision-Making/Aiding/Analysis* (MCDM/A) e Inteligência Artificial (IA), que possui grande utilidade na implementação de abordagens analíticas que tratam a natureza ambígua e subjetiva da quantificação do risco a partir da percepção do(s) decisor(es). A aplicabilidade do *framework* proposto é demonstrada no estudo de casos múltiplos de dez empresas de exploração e produção de petróleo e gás natural *onshore* do Brasil através de uma série de sessões de *brainstorming/brainwriting, entrevistas e questionários*. Primeiramente, tomando a literatura pertinente como ponto de partida, os decisores identificam os principais riscos relevantes da cadeia de suprimentos. Posteriormente, através de variáveis linguísticas, os decisores avaliam, comparativamente, a ‘probabilidade de ocorrência’ e o ‘impacto/consequência’ dos principais ‘tipos de risco’ [10 critérios], ‘fatores de risco’ [46 subcritérios] e ‘graus de risco’ [3 alternativas]. A partir da avaliação dos decisores aplica-se o sistema computacional desenvolvido para automatizar o cálculo do método FEAHP. Os resultados da identificação e avaliação dos riscos da cadeia de suprimentos possibilitam priorizar os riscos mais importantes através de um *IIR*. Na classificação de prioridade final, os ‘tipos de risco’ (C_1) *Risco catastrófico e internacional* e (C_6) *Risco financeiro* são avaliados como os mais importantes. Em relação aos ‘fatores de risco’, a maior prioridade final é dada às ‘(S_{134}) Mudanças de mercado’, aos ‘(S_{155}) Danos e acidentes de transporte’, às ‘(S_{175}) Flutuações da taxa de câmbio da moeda’, às ‘(S_{10}) Epidemias e pandemias’ e ao ‘(S_{26}) Fornecimento único’. Em complemento, entre os fatores com alto risco, destaca-se o fator ‘(S_{318}) Dificuldade de licenciamento ambiental’, que, por sua vez, é identificado como um risco exclusivo da Indústria investigada. O grau geral de risco da cadeia de suprimentos de petróleo e gás natural (CSPG) *onshore* brasileira é determinado como ‘alto risco’. Para confirmar este resultado, são realizadas a verificação analítica e a análise de sensibilidade. As principais contribuições teóricas e práticas desta pesquisa são: a. a descoberta de que determinados ‘fatores de risco’ essenciais para a maioria das empresas podem não ser importantes para outras; b. a alta prioridade final

¹⁴ FAGUNDES, M.V.C. *et al.* A Holistic Framework for Supply Chain Risk Assessment with Support from a Fuzzy Extended AHP Computational System: the case of typical and sustainable risks in the Brazilian onshore oil and natural gas industry. **Journal of Operations Management**, v. to be defined, n. to be defined, p. to be defined, year to be defined. DOI: to be defined. O texto inédito apresentado nesta tese foi sintetizado e submetido, em formato de artigo, ao periódico *Journal of Operations Management*.

dos tipos de risco típico (C_1) *Risco catastrófico e internacional* e (C_6) *Risco financeiro* ratifica a importância e o impacto global da CSPG; c. os tipos de risco típico (C_3) *Risco de produção* e (C_7) *Risco de informação* apresentam fatores de risco com graus de risco menos importantes; d. os riscos relacionados à sustentabilidade apresentam prioridade final menos expressiva e em menor quantidade do que os riscos típicos, onde, entre os riscos sustentáveis, destaca-se o risco econômico; e. os resultados da identificação e avaliação de riscos [ação preditiva] podem contribuir para uma melhor reflexão das empresas [ação proativa] sobre as estratégias de mitigação e controle de riscos, o que corrobora a implementação ou o aperfeiçoamento do *Sistema de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos* (SGRCS) das empresas estudadas; e, f. o sistema computacional FEHP promove de forma íntegra, flexível, sem falhas e/ou erros a melhoria do processo de ARCS. Por fim, são elencadas direções de pesquisa futura que podem servir de base para que mais pesquisadores e gestores desenvolvam investigações no campo da Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos (GRCS).

Palavras-chave: MCDM/A; Inteligência Artificial; Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos; Riscos de Sustentabilidade da Cadeia de Suprimentos; Sistema de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos.

3.3.1.1 Introdução

As cadeias de suprimentos globais estão cada vez mais complexas e vulneráveis a riscos e interrupções que podem produzir consequências graves para a sociedade (KLEINDORFER; SAAD, 2005; TANG, 2006; CRAIGHEAD *et al.*, 2007; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; ASGARI *et al.*, 2016; ABDEL-BASSET *et al.*, 2019). Os riscos e interrupções da cadeia de suprimentos aumentaram nos últimos anos devido à globalização, redução da base de fornecimento, diminuição do ciclo de vida dos produtos, aumento da terceirização e do foco na eficiência e no *lean management* (NORRMAN; JANSSON, 2004; STECKE; KUMAR, 2009; HOFMANN *et al.*, 2014).

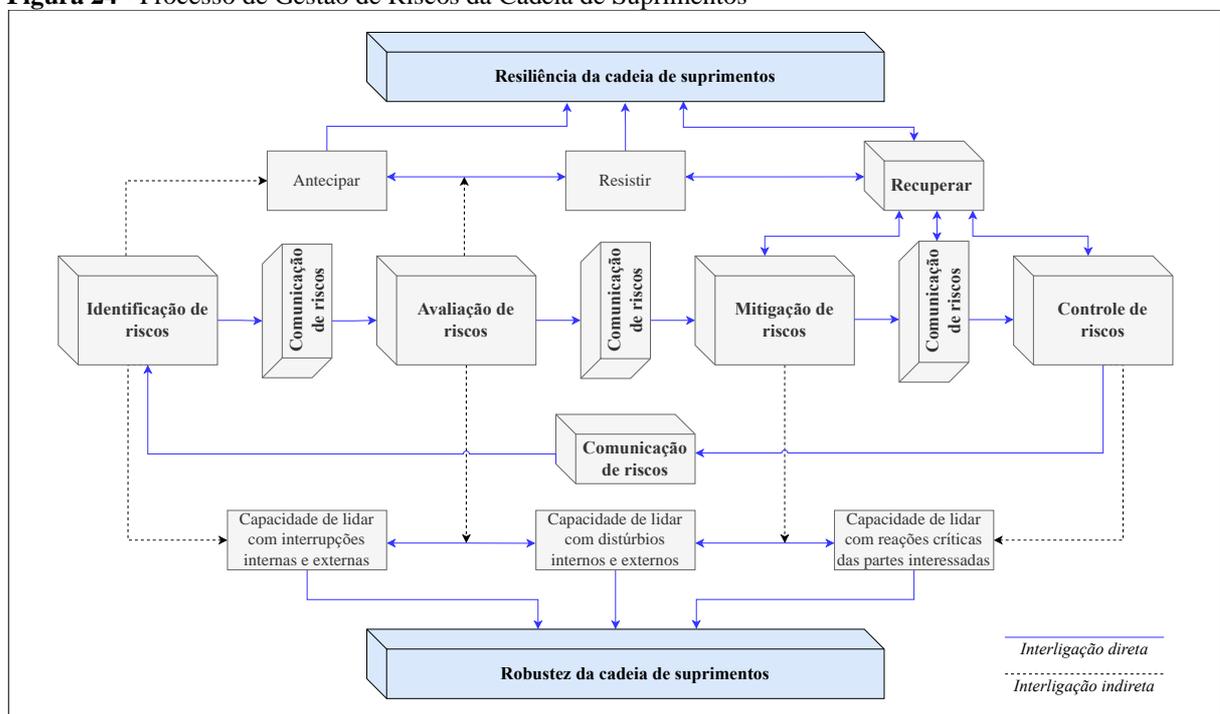
Segundo o *World Economic Forum* “a erosão das cadeias de suprimentos globais” é um importante risco econômico que aumentou em 2020 (WEF, 2020, p. 94). O risco de uma pandemia global tornou-se realidade com a Covid-19, o que expôs empresas e sociedades às deficiências dos padrões normais de produção e consumo com impacto duradouro nas cadeias de suprimentos (NANDI *et al.*, 2020). Isso enfatiza a importância de planos eficazes de mitigação de risco para interrupções de fornecimento em larga escala e de longa duração (ISM, 2020). À medida que governos, empresas e sociedades avaliam os danos causados pela pandemia global, o fortalecimento da previsão estratégica é agora mais importante do que nunca. Com o mundo mais sintonizado com o risco, há uma oportunidade de chamar a atenção e encontrar maneiras mais eficazes de identificar e comunicar o risco aos tomadores de decisão (WEF, 2021).

Muitos autores definem ‘risco da cadeia de suprimentos’ (BOGATAJ; BOGATAJ, 2007; ELLIS; HENRY; SHOCKLEY, 2010; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; GARVEY; CARNOVALE; YENIYURT, 2015; JÜTTNER; PECK; CHRISTOPHER, 2003; MARCH; SHAPIRA, 1987; WAGNER; BODE, 2008; ZSIDISIN, 2003). Em todas as definições, existem dois elementos recorrentes: incertezas e impactos. Apesar do aumento dos riscos e interrupções das cadeias de suprimentos, poucas empresas tomam medidas efetivas para gerenciá-los (FAHIMNIA *et al.*, 2015). Esta lacuna torna a Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos (GRCS) uma área atraente de pesquisa e prática profissional. De acordo com Christopher *et al.* (2003), a GRCS é definida como a identificação de possíveis fontes de risco e a implementação de estratégias apropriadas por meio de uma abordagem coordenada para reduzir a vulnerabilidade da cadeia de suprimentos. Tang (2006) afirma que a GRCS resulta da

coordenação ou colaboração entre parceiros da cadeia de suprimentos para garantir rentabilidade e continuidade, englobando duas dimensões: riscos operacionais e de violação; e mitigação de riscos. Já Ho *et al.* (2015) ampliam o conceito de GRCS ao defini-la como um esforço colaborativo interorganizacional utilizando metodologias quantitativas e qualitativas para gerenciar eventos ou condições inesperadas de nível macro e micro, que podem ter um impacto adverso em qualquer parte da cadeia de suprimentos.

Numa perspectiva orientada ao processo, muitos estudiosos determinam que a GRCS é uma estrutura que envolve as etapas de *identificação, avaliação, mitigação e controle* de possíveis interrupções na cadeia de suprimentos e seus impactos negativos (AQLAN; LAM, 2016; BUGERT; LASCH, 2018; FAISAL; BANWET; SHANKAR, 2007; FAN; STEVENSON, 2018; HO *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2019; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; WAGNER; BODE, 2008). Pesquisas recentes ainda propõem a incorporação de mais duas etapas ao processo de GRCS, ou seja, a *comunicação de risco* (OLIVEIRA *et al.*, 2019) e a *recuperação de risco* (HO *et al.*, 2015). Em complemento, ABDEL-BASSET *et al.* (2019) afirmam que a maioria dos estudos recentes sobre GRCS buscam tornar as cadeias de suprimentos mais *robustas e resilientes* para lidar com riscos e interrupções. A Figura 24 mostra a atual dinâmica do processo de GRCS.

Figura 24 - Processo de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 24 nota-se a complexidade real do processo de GRCS. Há uma relação sistêmica [com interligações diretas e indiretas] entre diversas etapas e procedimentos, que visa desenvolver competências e atitudes para ‘antecipar’, ‘resistir’ e ‘recuperar’ de riscos que comprometem o desempenho da cadeia de suprimentos [*resiliência*], além de criar capacidades para lidar com interrupções, distúrbios e reações críticas das partes interessadas [*robustez*].

Conforme Tran, Dobrovnik e Kummer (2018), o desempenho geral do processo de GRCS depende fortemente de suas duas primeiras etapas: *identificação de riscos* e *avaliação de riscos*. A *identificação de riscos* busca obter *insights* sobre qualquer ameaça, incerteza, vulnerabilidade e evento inesperado que pode se tornar uma fonte ou gatilho para a materialização do risco, desempenhando um papel crucial na decisão do que será avaliado e gerenciado nas etapas subsequentes. A *avaliação de riscos* determinará quais soluções de *mitigação* e *controle* devem ser implementadas e quão eficientes serão, caracterizando-se como um estágio extremamente difícil e complexo (BRADLEY, 2010; HECKMANN; COMES; NICKEL, 2015; JÜTTNER *et al.*, 2003; TAZELAAR; SNIJDERS, 2013).

A natureza dos riscos da cadeia de suprimentos tem sido explorada extensivamente nos últimos anos (HALLIKAS; VIROLAINEN; TUOMINEN, 2002; HO *et al.*, 2015; HOFMANN *et al.*, 2014; TANG, 2006; WU; BLACKHURST, 2006; ZSIDISIN *et al.*, 2004). Os chamados ‘riscos típicos’ ou ‘riscos comuns’ da cadeia de suprimentos envolvem interrupções, distúrbios e atrasos no fluxo de bens, recursos financeiros ou serviços causados por *risco catastrófico e internacional* (por exemplo, AQLAN; LAM, 2015; SHEFFI, 2001; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011), *risco de fornecimento* (MANUJ; MENTZER, 2008; YOON *et al.*, 2018; ZSIDISIN; ELLRAM, 2003), *risco de produção* (CHAUDHURI *et al.*, 2020; CHOPRA; SODHI, 2004; RADIVOJEVIĆ; GAJOVIĆ, 2014), *risco de demanda* (CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006; SAMVEDI; JAIN; CHAN, 2013; SHAHBAZ; RASI; AHMAD, 2019), *risco de transporte* (HUDNURKAR *et al.*, 2017; VENKATESH; RATHI; PATWA, 2015; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006), *risco financeiro* (CHOPRA; SODHI, 2004; HAHN; KUHN, 2012; SILVA *et al.*, 2020) e *risco de informação* (EGRI, 2013; GHADGE *et al.*, 2019; LEE; WHANG, 2000).

Além dos riscos típicos, a crescente consciência dos mercados e sociedades para práticas de negócios sustentáveis trouxe riscos adicionais e/ou diferentes para as organizações (BLACKBURN, 2007). Considerando a visão sustentável do *triple bottom line* definida no Relatório Brundtland (BRUNDTLAND, 1987), os ‘riscos relacionados à sustentabilidade’ envolvem *risco ambiental* (por exemplo, COUSINS; LAMMING; BOWEN, 2004; SEURING;

MÜLLER, 2008; XU *et al.*, 2019), *risco social* (CLIFT, 2003; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2014; NASSAR *et al.*, 2020) e *risco econômico* (LEE, 2009; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2016; RAJESH, 2019). De acordo com Giannakis e Papadopoulos (2016), os riscos relacionados à sustentabilidade são diferenciados em muitos aspectos dos riscos típicos. Enquanto os riscos típicos provocam interrupções ou atrasos na cadeia de suprimentos, os riscos de sustentabilidade acionam reações críticas das partes interessadas. Deste modo, tanto os riscos típicos quanto os riscos de sustentabilidade podem causar danos à cadeia de suprimentos. Portanto, ambas categorias de riscos devem ser tratadas na GRCS.

Contudo, a partir da análise da pesquisa anterior da GRCS constata-se que a integração das questões de sustentabilidade à literatura tradicional de riscos típicos é muito incipiente. Ainda há pouca compreensão sobre como os aspectos sustentáveis se materializam em riscos, além de sua agregação e interdependência em relação aos riscos típicos da cadeia de suprimentos (CHOPRA; SODHI, 2004; FOERSTL *et al.*, 2010; HARWOOD; HUMBY, 2008; HOFMANN *et al.*, 2014; SEURING; MÜLLER, 2008). Por isso, quando se trata da *identificação e avaliação de riscos* da cadeia de suprimentos, as abordagens de gestão de risco existentes geralmente recorrem a critérios e técnicas tipicamente operacionais e financeiras (HOFMANN *et al.*, 2014; RAO; GOLDSBY, 2009).

Diante destas lacunas de conhecimento, neste artigo é proposta uma estrutura [*framework*] holística baseada na abordagem computacional do método *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP), introduzido originalmente por Chang (1996), para avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos. Especificamente, busca-se: i. identificar e avaliar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos; ii. priorizar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos usando um índice integral de risco (*IIR*); e, iii. definir o grau geral de risco da cadeia de suprimentos. O método FEAHP é adotado por sua capacidade de lidar com a incerteza e a natureza qualitativa do problema de avaliação de riscos (CHAN; KUMAR, 2007; DÍAZ-CURBELO; ESPIN ANDRADE; GENTO MUNICIO, 2020; GANGULY; GUIN, 2013; KUBLER *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2012). Para assegurar a robustez numérica do *framework* proposto, bem como reduzir o esforço e o tempo da avaliação de riscos, é desenvolvido um sistema computacional capaz de automatizar todo o processo de cálculo do método FEAHP. Para demonstrar a aplicabilidade da estrutura proposta é realizado o estudo de casos múltiplos de dez grandes empresas de exploração e produção de petróleo e gás natural *onshore* do Brasil. Esta Indústria é escolhida em razão de sua importância para a economia nacional e internacional, além de sucessivas crises sofridas pelo Setor nos últimos

anos, no qual a gestão de riscos tem assumido um papel fundamental na promoção da competitividade.

Diante do exposto, as principais implicações desta pesquisa são: a. uma extensiva revisão literária sobre os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos; b. a proposição de uma nova estrutura holística para Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos (ARCS) baseada na abordagem computacional do método FEAHP; e, c. a aplicação prática da estrutura proposta em um ambiente industrial, o que possibilita análises teóricas e empíricas relevantes para o campo da GRCS [com a identificação de lacunas de pesquisa e recomendação de estudos futuros]. O modelo estrutural proposto busca quantificar a ARCS a partir de informações imprecisas, instáveis, subjetivas e vagas derivadas da percepção dos decisores das empresas estudadas. Para tanto, considera-se o pressuposto de que a quantificação analítica da percepção dos decisores sobre riscos [ação preditiva] contribua para uma melhor reflexão das empresas [ação proativa] sobre quais estratégias de *mitigação* e *controle de riscos* podem ser implementadas e quão eficientes serão no desempenho de toda a cadeia de suprimentos.

Além desta introdução, a presente pesquisa possui mais cinco seções. Na próxima seção, é apresentada a revisão de literatura sobre a ARCS. Na seção 3.3.1.3 é discutida a metodologia da pesquisa. Na seção 3.3.1.4 é apresentada a aplicação da estrutura proposta a partir da análise de dados da indústria brasileira de petróleo e gás natural *onshore*. Os resultados da pesquisa empírica, as lacunas da investigação e a recomendação para estudos futuros são discutidos na seção 3.3.1.5. Finalmente, na seção 3.3.1.6 são apresentadas as conclusões, recomendações e limitações do estudo.

3.3.1.2 Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos

No ambiente de mercado em constante mudança, a GRCS tornou-se parte integrante de um projeto holístico da cadeia de suprimentos (CHRISTOPHER; LEE, 2004). Neste contexto, destaca-se que a eficácia das soluções de GRCS depende fortemente do desempenho da ARCS. Talvez, seja por isso que, atualmente, a ARCS é a etapa mais estudada do processo de GRCS (HO *et al.*, 2015). Há múltiplas definições para ARCS na literatura. Uma das primeiras menções ao termo foi feita por Zsidisin e Ellram (1999) ao sugerirem uma abordagem de dez etapas para avaliação de risco, na qual ressaltam como os riscos de fornecimento de material afetam a entrega de produtos e serviços de qualidade.

Segundo Manuj e Mentzer (2008), a ARCS está associada à ‘probabilidade de ocorrência’ de um evento de risco e o ‘impacto’ de tal evento no desempenho da cadeia de suprimentos. Kern *et al.* (2012) complementam que o objetivo da ARCS é a análise detalhada dos riscos identificados, priorizando-os com base na ‘probabilidade de ocorrência’ e no ‘impacto’ nos negócios. Tummala e Schoenherr (2011) diferenciam os termos avaliação de risco [em inglês *risk assessment*], medição de risco [*risk measurement*] e análise de risco [*risk evaluation*]. A avaliação de risco determina a probabilidade de cada fator de risco; a medição de risco define as consequências de todos os riscos potenciais; e a análise de risco corresponde à classificação e aceitação de risco. Outros autores compreendem que a avaliação de risco, medição de risco, análise de risco e quantificação de risco são termos intercambiáveis (GARVEY; CARNOVALE; YENIYURT, 2015; GHADGE; DANI; KALAWSKY, 2012; GIANNAKIS; LOUIS, 2011).

Em contraste, Kırılmaz e Erol (2017) definem a ARCS como um processo de cinco estágios, incluindo identificação de risco, medição de risco, avaliação de risco, gerenciamento de risco e controle. Nesta pesquisa é adotado um conceito abrangente de ARCS, alinhado ao processo comum de GRCS, referindo-se a todas as atividades para julgar qualitativa ou quantitativamente, analisar, calcular, quantificar, medir, avaliar e modelar indicadores individuais, pontuação agregada, ou nível geral de riscos que são identificados na cadeia de suprimentos, a fim de criar fundamentos sólidos para *mitigação e controle de riscos*, bem como outras decisões de gestão (TRAN; DOBROVNIK; KUMMER, 2018).

Na literatura mais recente sobre ARCS o risco é visto como a possibilidade de um desvio negativo do valor esperado de uma [ou mais] medida(s) de desempenho [por exemplo, lucro, qualidade do produto, satisfação do cliente, etc.], resultando em consequências negativas para a cadeia de suprimentos. O evento através do qual um risco típico se materializa é comumente chamado de ‘distúrbio ou interrupção’ da cadeia de suprimentos. Já os riscos de sustentabilidade podem se manifestar através de ‘reações críticas das partes interessadas’ [em inglês *stakeholders*] (HOFFMAN *et al.*, 2014). Segundo Giannakis e Papadopoulos (2016), as estratégias de resposta aos riscos típicos visam reduzir a complexidade da cadeia de suprimentos e tempos de espera, minimizando custos, melhorando a capacidade de resposta e otimizando a eficiência operacional. Por outro lado, o tratamento de riscos relacionados à sustentabilidade é voltado para a eliminação das consequências negativas para a marca, imagem corporativa ou valor para os acionistas. Independentemente da natureza distinta dos riscos típicos e relacionados à sustentabilidade, seus processos de gestão devem fazer parte da

estratégia geral de riscos da cadeia de suprimentos, pois ambas categorias de riscos são interligadas e interdependentes (PULLMAN; MALONI; CARTER, 2009).

Muitos estudiosos propõem classificações de tipologias e/ou taxonomias tanto para riscos típicos da cadeia de suprimentos (por exemplo, CHOPRA; SODHI, 2004; HO *et al.*, 2015; HUDNURKAR *et al.*, 2017; JÜTTNER *et al.*, 2003; TANG; MUSA, 2011; TANG, 2006; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011), quanto para riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos (por exemplo, ANDERSON, 2005; BLACKBURN, 2007; GIANNAKIS; PAPADOPOULOS, 2016; MANGLA *et al.*, 2015a; ROSTAMZADEH *et al.*, 2018; SONG; MING; LIU, 2017; XU *et al.*, 2019). Contudo, na revisão da literatura sobre a GRCS, e sobre a ARCS em particular, não se encontra nenhuma abordagem de classificação que integra riscos típicos e riscos relacionados à sustentabilidade. Por isso, a estrutura conceitual para a classificação de riscos da cadeia de suprimentos, apresentada na próxima subseção 3.3.1.2.1, é considerada única e mais abrangente, pois considera um conjunto holístico de riscos típicos e riscos sustentáveis com vários graus de ‘probabilidade de ocorrência’ e de ‘impacto/consequência’ na cadeia de suprimentos. Essa ampla classificação holística de riscos não foi proposta em estudos anteriores, o que permite realizar mais avaliações empíricas de riscos de cadeias de suprimentos de diferentes escopos, extensões e níveis de complexidade.

3.3.1.2.1 Avaliação de riscos típicos e relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos

Para identificar e classificar os riscos típicos e os riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos propostos na literatura, são revisados vários artigos de periódicos publicados entre os anos de 2000 e 2020. Primeiro, os termos de pesquisa são definidos. As palavras-chave usadas no processo de busca são ‘*supply chain*’ and ‘*risk*’ or ‘*risk type*’ or ‘*risk factor*’. Em segundo lugar, vários bancos de dados acadêmicos são utilizados para identificar os artigos de periódicos, incluindo EBSCOhost, Emerald, Google Scholar, IEEExplore, Ingenta, Metapress, ProQuest, ScienceDirect, Scopus, Springer, Taylor e Francis, Web of Science e Wiley. São selecionados apenas artigos revisados por pares escritos em inglês e publicados em revistas internacionais. Não há restrição a uma lista de periódicos para garantir a captura de todos os estudos relevantes.

Terceiro, os resumos dos artigos pré-selecionados são examinados para verificar quais tópicos do processo de GRCS eles cobrem; então, são filtrados apenas os artigos que abordam

as etapas de *identificação* e/ou *avaliação* e/ou *mitigação* e/ou *controle* de ‘tipos de risco’ e/ou ‘fatores de risco’ da cadeia de suprimentos. Quarto, as listas de referências dos artigos também são avaliadas para garantir que não haja nenhum outro artigo relevante omitido na pesquisa. Por fim, o conteúdo de cada artigo é completamente revisado para garantir que ele se encaixe no contexto da ARCS. Esta análise resulta em 91 artigos de periódicos internacionais.

Para classificar esses artigos, é desenvolvida uma estrutura conceitual holística que integra vários riscos da cadeia de suprimentos, conforme mostra, resumidamente, o Quadro 5.

Quadro 5 - Sumário da classificação holística dos riscos da cadeia de suprimentos

Riscos típicos da cadeia de suprimentos			
Código	Tipo de risco	Código	Fator de risco
C_1	Risco catastrófico e internacional	S_1 a S_{14}	Fatores de risco catastrófico e internacional
C_2	Risco de fornecimento	S_{15} a S_{61}	Fatores de risco de fornecimento
C_3	Risco de produção	S_{62} a S_{118}	Fatores de risco de produção
C_4	Risco de demanda	S_{119} a S_{148}	Fatores de risco de demanda
C_5	Risco de transporte	S_{149} a S_{174}	Fatores de risco de transporte
C_6	Risco financeiro	S_{175} a S_{197}	Fatores de risco financeiro
C_7	Risco de informação	S_{198} a S_{224}	Fatores de risco de informação
Riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos			
Código	Tipo de risco	Código	Fator de risco
C_8	Risco ambiental	S_{225} a S_{272}	Fatores de risco ambiental
C_9	Risco social	S_{273} a S_{300}	Fatores de risco social
C_{10}	Risco econômico	S_{301} a S_{317}	Fatores de risco econômico

Fonte: Autoria própria (2021).

Ao sintetizar vários pontos de vista da literatura, os riscos da cadeia de suprimentos são agrupados nas duas categorias de ‘riscos típicos’ e ‘riscos relacionados à sustentabilidade’. Os riscos típicos são classificados em 7 ‘tipos de risco’, os quais são codificados e rotulados da seguinte forma: (C_1) *Risco catastrófico e internacional*, (C_2) *Risco de fornecimento*, (C_3) *Risco de produção*, (C_4) *Risco de demanda*, (C_5) *Risco de transporte*, (C_6) *Risco financeiro* e (C_7) *Risco de informação*. Os riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos foram agrupados, codificados e rotulados em 3 ‘tipos de risco’: (C_8) *Risco ambiental*, (C_9) *Risco social* e (C_{10}) *Risco econômico*. Cada um dos 10 ‘tipos de risco’ estabelecidos tem ‘fatores de risco’ associados, ou seja, vários eventos e situações que conduzem a um tipo de risco específico (HO *et al.*, 2015). Ao todo, são identificados e classificados 317 ‘fatores de risco’ referentes aos 10 ‘tipos de risco’ típicos e relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos. Cada ‘fator de risco’ também é codificado sequencialmente de (S_1) a (S_{317}). A definição e os principais proponentes desses ‘fatores de risco’ são fornecidos no Apêndice D.

Dos riscos típicos da cadeia de suprimentos, o primeiro refere-se ao (C_1) *Risco catastrófico e internacional*. Dos 91 artigos de periódicos revisados, 10 artigos discutem esse tipo de risco. São identificados 14 ‘fatores de risco catastrófico e internacional (S_1 a S_{14})’, tais como desastre natural, epidemias e pandemias, acidentes com incêndios, etc. O segundo tipo de risco é o (C_2) *Risco de fornecimento*, que atraiu significativa atenção dos pesquisadores, pois 35 dos 91 artigos revisados abordam este grupo de risco. São identificados 47 ‘fatores de risco de fornecimento (S_{15} a S_{61})’, como falha na seleção de fornecedores certos, fornecimento único, falha em atender requisitos de entrega, etc.

O terceiro tipo de risco ordinário é o (C_3) *Risco de produção*, abordado por 27 dos 91 trabalhos revisados. Esse é o tipo de risco no qual é identificado o maior número de fatores de risco relacionados, isto é, 57 ‘fatores de risco de produção (S_{62} a S_{118})’. Por exemplo, riscos ocupacionais, capacidade de produção, manutenção insuficiente, entre outros. O quarto tipo de risco é o (C_4) *Risco de demanda*, tratado em 22 artigos, onde se identifica 30 ‘fatores de risco (S_{119} a S_{148})’ associados, tais como previsões de demanda imprecisas, variabilidade da demanda, alto nível de serviço exigido pelos clientes, etc.

O quinto tipo de risco típico da cadeia de suprimentos é o (C_5) *Risco de transporte*. Esse tipo de risco atraiu menos atenção dos pesquisadores, pois apenas 11 dos 91 artigos examinados tratam deste tópico de pesquisa. São identificados 26 ‘fatores de risco de transporte (S_{149} a S_{174})’, entre os quais manuseio excessivo de carga, rede de transporte complexa, danos e acidentes de transporte, e outros. O sexto tipo de risco é o (C_6) *Risco financeiro*, pesquisado em 16 artigos. Alguns ‘fatores de risco financeiro (S_{175} a S_{197})’ são flutuações da taxa de câmbio da moeda, custo do produto, margem de lucro baixa, etc. O último tipo de risco comum da cadeia de suprimentos é o (C_7) *Risco de informação*, pesquisado em 20 artigos. Constata-se que esse é um tópico de pesquisa emergente, pois são identificados 27 ‘fatores de risco de informação (S_{198} a S_{224})’ nos artigos revisados, como, por exemplo, ameaças físicas à infraestrutura de informações, segurança da Internet, violação de dados, entre outros.

Para classificar os riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos, se considera a visão de sustentabilidade do *triple bottom line* definida no Relatório de Brundtland (BRUNDTLAND, 1987). Esta categoria de riscos envolve riscos ambientais, sociais e econômicos, que afetam o ecossistema natural, a reputação corporativa e a exposição financeira, podendo causar consequências danosas às organizações, sem provocar [ou ser a causa de]

qualquer interrupção em suas operações (GIANNAKIS; PAPADOPOULOS, 2016; HOFMANN *et al.*, 2014).

Inicialmente, verifica-se que o (C_8) *Risco ambiental* atraiu grande interesse dos pesquisadores, pois 29 dos 91 artigos revisados enfocam esse tipo de risco. Fato que corrobora a importância deste tópico de pesquisa é o elevado número de 48 ‘fatores de risco ambiental (S_{225} a S_{272})’ identificados, entre os quais, consumo ineficiente de energia, acidentes ambientais, emissão de gases de efeito estufa, etc. Já o (C_9) *Risco social* é abordado em 17 artigos. São identificados 28 ‘fatores de risco social (S_{273} a S_{300})’, como, por exemplo, trabalho infantil e forçado, discriminação, perda de reputação por problemas de fornecedores, etc. Finalmente, o (C_{10}) *Risco econômico*, que é menos discutido na literatura, com apenas 9 artigos relacionados, engloba 17 ‘fatores de risco (S_{301} a S_{317})’, tais como suborno ou corrupção, evasão fiscal, risco de sustentabilidade econômica de governos, entre outros.

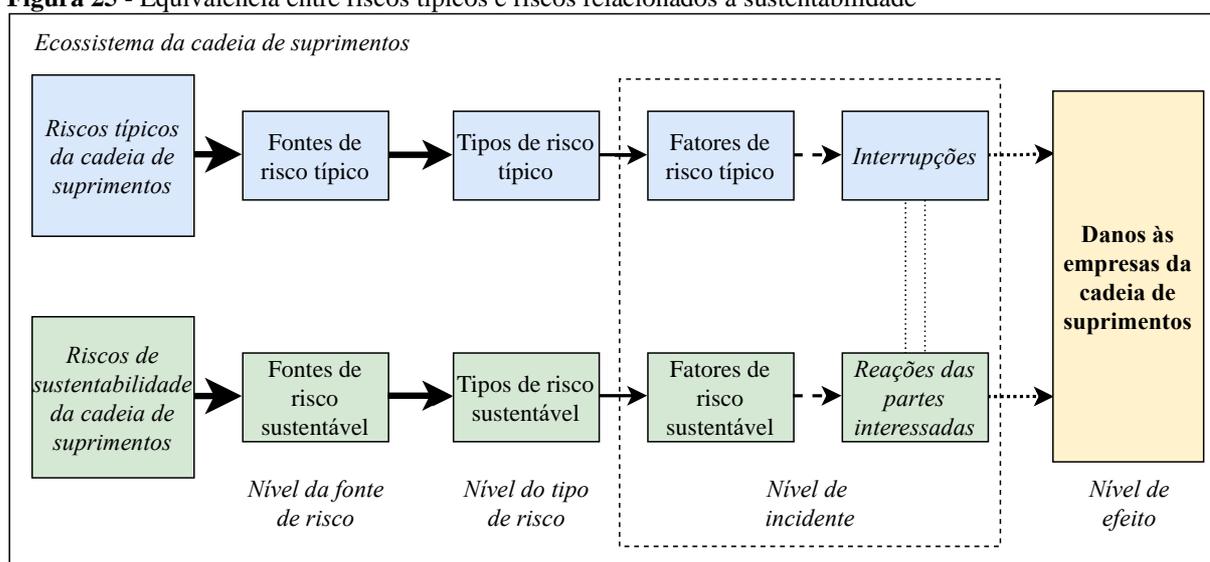
Embora abrangente, integrativa e atualizada, a estrutura de classificação apresentada, composta por ‘10 tipos de risco’ e ‘317 fatores de risco’, não é uma lista exaustiva de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos; o propósito aqui é apontar a amplitude das diferentes incertezas e vulnerabilidades relacionadas à cadeia de suprimentos que precisam ser consideradas no desenvolvimento de estratégias efetivas de gestão de risco.

Contudo, apesar de ter sido considerada na referida classificação de riscos uma equivalência estrutural entre os riscos típicos e os riscos de sustentabilidade da cadeia de suprimentos, é necessária a delimitação de algumas questões, como mostra a Figura 25. A primeira questão é que ambas categorias de risco emanam de fontes de risco dentro ou nas proximidades da cadeia de suprimentos, ou seja, são oriundas dos ambientes interno e externo que formam o *Ecosistema da Cadeia de Suprimentos*; portanto, tanto os riscos típicos quanto os riscos relacionados à sustentabilidade podem causar danos à cadeia de suprimentos.

A segunda questão a se observar é que uma interrupção na cadeia de suprimentos não é uma pré-condição necessária para que um risco de sustentabilidade da cadeia de suprimentos se materialize (HOFMANN *et al.*, 2014). Mas, os riscos relacionados à sustentabilidade podem ser precursores de riscos típicos da cadeia de suprimentos (GIANNAKIS; PAPADOPOULOS, 2016). Ou seja, um risco sustentável pode [ou não] se manifestar na [ou falta de] ação da parte interessada como consequência de um incidente que prejudica a cadeia de suprimentos. Ao tempo em que um risco de sustentabilidade, como, por exemplo, acidentes ambientais, pode causar a interrupção do fornecimento e da demanda.

E terceiro, além dos riscos puramente típicos e puramente relacionados à sustentabilidade, existem riscos típicos que têm o potencial de ser riscos de sustentabilidade ao mesmo tempo. Por exemplo, um acidente com agente químico no local de um fornecedor pode levar a uma interrupção e também provocar reações das partes interessadas. No entanto, isso não argumenta contra uma distinção conceitual. Assim, se as empresas praticarem a GRCS se concentrando exclusivamente em riscos típicos que provocam eventos interruptivos, as questões de sustentabilidade podem passar despercebidas ou ser sistematicamente subestimadas. Conseqüentemente, os conceitos de GRCS precisam se concentrar em dois possíveis mecanismos de gatilho: distúrbios/interrupções e reações das partes interessadas.

Figura 25 - Equivalência entre riscos típicos e riscos relacionados à sustentabilidade



Fonte: adaptado de Hofmann *et al.* (2014).

Os riscos da cadeia de suprimentos podem ser identificados, avaliados, mitigados e controlados através de diferentes modelos, métodos, indicadores e escalas. Na próxima seção 3.3.1.2.2, são discutidos os métodos usados especificamente na ARCS, com ênfase nos trabalhos relacionados às abordagens Fuzzy AHP.

3.3.1.2.2 Métodos para ARCS

A ARCS é inerentemente subjetiva, pois cada avaliador tem seu próprio conceito do que constitui um risco e a natureza das relações à montante e à jusante. Por isso, na literatura, os

modelos, métodos, escalas e indicadores usados para ARCS são propostos por diferentes pesquisadores e implementados usando várias abordagens (HO *et al.*, 2015; MOHIB; DEIF, 2020; TRAN; DOBROVNIK; KUMMER, 2018).

De acordo com Ho *et al.* (2015), uma variedade de estruturas qualitativas e quantitativas é proposta para ARCS. Para Tran, Dobrovnik e Kummer (2018) os métodos de ARCS podem ser divididos em métodos qualitativos, semiquantitativos, quantitativos e mistos. Os métodos qualitativos envolvem julgamento conceitual sobre os indicadores de risco, por exemplo, consequência e probabilidade, usando normalmente uma escala linguística. Os métodos semiquantitativos usam números relativos para avaliar e priorizar indicadores de risco de forma mais intensiva. Os métodos quantitativos são usados para estimar com precisão sistemática a probabilidade de risco, o impacto de risco e outros indicadores. Os métodos mistos referem-se à combinação de duas ou mais metodologias diferentes para a ARCS.

Na ARCS os métodos semiquantitativos e quantitativos estão se tornando mais prevalentes, enquanto que a abordagem qualitativa tem recebido menos atenção (HO *et al.*, 2015; TRAN; DOBROVNIK; KUMMER, 2018). Os métodos quantitativos consistem em analíticos, por exemplo, programação matemática, simulação, etc., e empíricos, como análise fatorial exploratória, modelagem de equações estruturais, entre outros. Os métodos analíticos, por sua vez, têm atraído mais atenção do que os métodos empíricos (HO *et al.*, 2015). Os métodos analíticos e empíricos podem ser aplicados de forma individual ou integrada/combinada/híbrida. Certas técnicas são integradas para superar as limitações ou aprimorar o desempenho dos métodos individuais originais. Da mesma forma, a aplicação combinada de métodos analíticos tem atraído mais pesquisadores do que o uso de métodos empíricos integrados (HO *et al.*, 2015).

Entre os métodos analíticos integrados, o método AHP e a modelagem Fuzzy são os mais usados conjuntamente e comumente associados a outros métodos, técnicas e abordagens. A combinação dos métodos AHP e Fuzzy resulta em uma poderosa metodologia de tomada de decisão com múltiplos critérios [em inglês *Multicriteria Decision-Making* (MCDM) ou *Multicriteria Decision Aiding/Analysis* (MCDA)]. Segundo Simić *et al.* (2017), a Teoria dos Conjuntos Fuzzy é uma das técnicas de IA com importante aplicação em problemas de avaliação e seleção da cadeia de suprimentos. Portanto, a abordagem híbrida MCDM/A-IA do método Fuzzy AHP tem grande utilidade para lidar com a natureza ambígua e incerta do problema de quantificação de riscos, destacando-se como um importante tópico de pesquisa na ARCS (DÍAZ-CURBELO; ESPIN ANDRADE; GENTO MUNICIO, 2020). Além disso, o

Fuzzy AHP é mais adequado para viabilizar a abordagem indutiva que usa a percepção/opinião de decisores ou experimentos controlados para ARCS (MOHIB; DEIF, 2020).

Na próxima seção 3.3.1.2.2.1, é apresentada uma série de trabalhos proeminentes nos quais o método integrado Fuzzy AHP é aplicado em diversos problemas relacionados à ARCS.

3.3.1.2.2.1 Trabalhos relacionados: a ARCS e o método Fuzzy AHP

Como uma metodologia popular prática para lidar com a imprecisão e a incerteza, o método AHP (SAATY, 1980) combinado com a lógica Fuzzy (ZADEH, 1965), comumente conhecida como Fuzzy AHP ou FAHP (VAN LAARHOVEN; PEDRYCZ, 1983), possui importantes aplicações nos últimos anos. Essa popularidade se deve à sua flexibilidade para ser combinada com outras técnicas e sua simplicidade de implementação prática (KUBLER *et al.*, 2016). O AHP original busca opiniões do tomador de decisão na forma de comparações de pares e, posteriormente, deriva escalas de razão de matrizes de comparação que indicam as preferências entre as diferentes alternativas de critérios. A soma ponderada normalizada sobre os critérios fornece uma pontuação geral associada a cada alternativa disponível e, assim, ajuda o tomador de decisão a escolher a melhor decisão. O método AHP original, proposto por Saaty (1980), usa uma escala nítida de 1-9 em que as preferências do decisor, avaliadas com rótulos de linguagem natural [por exemplo, 'igual, não muito forte, forte', etc.], são representadas por um número nítido e registradas em matrizes de comparação.

Já os algoritmos Fuzzy AHP usam números fuzzy para representar essas preferências e são registrados em matrizes de comparação fuzzy correspondentes. A principal motivação da incorporação da Teoria dos Conjuntos Fuzzy no AHP é baseada no argumento de que os julgamentos e as preferências do decisor não podem ser representadas com precisão por números nítidos devido à incerteza inerente à percepção humana (AHMED; KILIC, 2019). Desconsiderar esta imprecisão do comportamento humano no processo de tomada de decisão [ou no processo de avaliação] pode levar a decisões [ou avaliações] erradas (SIMON, 1982; TSAUR; CHANG; YEN, 2002). Portanto, a fim de abordar a questão da imprecisão e incerteza, e para transformar com exatidão os julgamentos humanos em escalas de razão, a Teoria dos Conjuntos Fuzzy, introduzida por Zadeh (1965), tem sido incorporada ao AHP, em que a balança é composta de números fuzzy.

O Fuzzy AHP tem sido usado, principalmente, nos setores de manufatura, indústria e governo, e mais aplicado nas áreas de ‘seleção e avaliação’ (KUBLER *et al.*, 2016; VAIDYA; KUMAR, 2006). Além disso, há uma quantidade significativa de literatura sobre a combinação ou integração do Fuzzy AHP com outras ferramentas, particularmente, com TOPSIS [em português ‘Técnica de Ordenamento por Preferência de Semelhança com a Solução Ideal’], QFD [Desdobramento da Função Qualidade], ANP [Processo de Rede Analítica] e Delphi (EMROUZNEJAD; HO, 2017; KUBLER *et al.*, 2016).

Nas aplicações de manufatura e industriais, o Fuzzy AHP é comumente usado de forma autônoma para lidar com vários problemas de Gestão da Cadeia de Suprimentos (por exemplo, ASTANTI; MBOLLA; AI, 2020; BÜYÜKÖZKAN, 2012; CHAMODRAKAS; BATIS; MARTAKOS, 2010; CHO *et al.*, 2012; KABRA; RAMESH; ARSHINDER, 2015; KAHRAMAN; CEBECI; ULUKAN, 2003; KILINCCI; ONAL, 2011; KOUL; VERMA, 2011; KUMAR; GARG, 2017; REZAEI; FAHIM; TAVASSZY, 2014; SHAVERDI *et al.*, 2013; VISHWAKARMA; PRAKASH; BARUA, 2019; YADAV; SHARMA, 2015). Contudo, a literatura sobre a aplicação do método Fuzzy AHP em problemas relacionados à GRCS e, especialmente, à ARCS é mais limitada.

Para identificar e classificar a literatura que usa o método FAHP na ARCS, também são analisados vários artigos de periódicos internacionais, escritos em inglês e revisados por pares, publicados entre 2000 e 2020. As palavras-chave usadas no processo de busca são ‘*supply chain risk*’ or ‘*risk assessment*’ or ‘*risk evaluation*’ and ‘*Fuzzy AHP*’ or ‘*FAHP*’. Os bancos de dados utilizados para identificar os artigos são Emerald, Google Scholar, IEEEExplore, ScienceDirect, Scopus, Springer, Taylor e Francis, Web of Science e Wiley, sem restrição a qualquer tipo de periódico. Os resumos dos artigos pré-selecionados são examinados para verificar como é feita a aplicação do método Fuzzy AHP na ARCS; a partir disso, são filtrados apenas os artigos que abordam a aplicação autônoma da técnica FAHP para identificar e/ou avaliar riscos da cadeia de suprimentos.

Esta análise resulta em 22 artigos, que são classificados de acordo com a estrutura conceitual holística que integra os ‘riscos típicos’ e os ‘riscos relacionados à sustentabilidade’ da cadeia de suprimentos, como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 - Aplicações do método FAHP na ARCS segundo a classificação holística

N.	Autor(es)	Riscos típicos da cadeia de suprimentos							Riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos		
		Código do tipo de risco							Código do tipo de risco		
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
1	Khan <i>et al.</i> (2004)			✓							
2	Chan e Kumar (2007)		✓								
3	Chan <i>et al.</i> (2008)		✓								
4	Lee (2009)		✓								
5	Wang <i>et al.</i> (2012)							✓		✓	
6	Wang, Li e Shi (2012)			✓							
7	Sofyaloğlu e Kartal (2012)		✓	✓	✓			✓			
8	Tian e Yan (2013)			✓							
9	Ganguly e Guin (2013)		✓								
10	Keramati <i>et al.</i> (2013)				✓						
11	Radivojević e Gajović (2014)	✓		✓			✓	✓		✓	
12	John <i>et al.</i> (2014)		✓								
13	Mangla, Kumar e Barua (2015b)		✓	✓	✓		✓	✓	✓		
14	Sahu, Sahu e Sahu (2015)		✓								
15	Gold e Awasthi (2015)		✓					✓	✓	✓	
16	Kexin, Ping e Hui (2015)							✓			
17	Mangla Kumar e Barua (2016)		✓	✓	✓		✓	✓			
18	Li <i>et al.</i> (2016)		✓	✓							
19	Vishwakarma, P. e Barua (2016)	✓	✓		✓	✓	✓				
20	Zimmer <i>et al.</i> (2017)									✓	
21	Khan <i>et al.</i> (2019)		✓	✓	✓	✓					
22	Ganguly e Kumar (2019)		✓	✓			✓	✓			
-	Este artigo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Autoria própria (2021).

Os artigos apresentados no Quadro 6 trazem contribuições importantes na pesquisa sobre Fuzzy AHP e ARCS. Cada um destes trabalhos foca na avaliação de determinado(s) risco(s) típico(s) e/ou risco(s) sustentável(is) da cadeia de suprimentos. Entre os riscos típicos, inicialmente, constata-se que o (C₁) *Risco catastrófico e internacional* é avaliado em apenas 2 artigos. Já a avaliação de (C₂) *Risco de fornecimento* mostra-se a mais popular, pois é realizada em 14 dos 22 artigos revisados. A avaliação de (C₃) *Risco de produção* é realizada em 10 artigos; já o (C₄) *Risco de demanda* é avaliado em 6 pesquisas. A avaliação de (C₅) *Risco de transporte*, (C₆) *Risco financeiro* e (C₇) *Risco de informação* recebeu pouca atenção na literatura, com 2, 5 e 2 artigos abordando estes tópicos de pesquisa, respectivamente.

Quanto à avaliação dos riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos com o uso do método FAHP, descobre-se que o (C₈) *Risco ambiental* é o mais estudado na literatura revisada com 6 trabalhos sobre o tema. Em seguida, tem-se o (C₉) *Risco social* com 4 artigos e o (C₁₀) *Risco econômico* com apenas 2 estudos.

Observa-se ainda que somente 5 dos 22 artigos revisados abordam a avaliação de algum risco típico e risco sustentável ao mesmo tempo. Sofyaloğlu e Kartal (2012) investigam a seleção de estratégias globais de GRCS, a partir de um estudo de caso da Turquia, avaliando *risco de fornecimento*, *risco de produção*, *risco de demanda* e *risco ambiental*. Radivojević e Gajović (2014) apresentam um modelo de ARCS, baseado no conhecimento de especialistas de seguradoras, focando *risco catastrófico e internacional*, *risco de produção*, *risco financeiro*, *risco de informação* e *risco social*. Mangla, Kumar e Barua (2015b) analisam os riscos da adoção e implementação de práticas eficazes de gestão da cadeia de suprimentos verde, avaliando a opinião de especialistas de quatro indústrias indianas sobre *risco de fornecimento*, *risco de produção*, *risco de demanda*, *risco financeiro*, *risco de informação*, *risco ambiental* e *risco social*. Gold e Awasthi (2015) propõem um modelo de seleção de fornecedores globais sustentáveis, cobrindo a avaliação de *risco de fornecimento*, *risco ambiental*, *risco social* e *risco econômico*. Por fim, Mangla, Kumar e Barua (2016) discutem uma metodologia para análise de riscos da cadeia de suprimentos verde em ambiente fuzzy através da qual são avaliados *risco de fornecimento*, *risco de produção*, *risco de demanda*, *risco financeiro* e *risco ambiental*.

Outra importante constatação a partir dos estudos sobre Fuzzy AHP e ARCS é que vários algoritmos são propostos na literatura com o objetivo de extrair pesos com precisão de matrizes de comparação fuzzy. Isto porque, no cálculo de pesos a partir de matrizes de comparação difusas há diversas complexidades associadas à aritmética dos números fuzzy. Ahmed e Kilic (2019) realizam uma revisão de análise de citações para avaliar a popularidade dos algoritmos FAHP. Cinco desses algoritmos estão entre os mais populares na literatura: o ‘Método Logarítmico Mínimo Quadrado (LLSM)’ (VAN LAARHOVEN; PEDRYCZ, 1983), o ‘Método da Média Geométrica de Buckley’ (BUCKLEY, 1985), o ‘LLSM com Normalização Modificada’ (BOENDER; DE GRAAN; LOOTSMA, 1989), a ‘Análise de Extensão Fuzzy (FEAHP)’ (CHANG, 1996) e o ‘FEAHP com Normalização Modificada’ (WANG; LUO; HUA, 2008).

Algumas destas técnicas, particularmente Chang (1996), Van Laarhoven e Pedrycz (1983) e Buckley (1989), são frequentemente referidas e, em alguns casos, muito bem implementadas. Mas, a abordagem da ‘Análise de Extensão Fuzzy’ de Chang (1996) tem se tornado a mais bem-sucedida em comparação com todas as outras, pois possui um algoritmo que requer menos esforço computacional e tem mais flexibilidade de implementação prática (AHMED; KILIC, 2019; KUBLER *et al.*, 2016; YADAV; SHARMA, 2015).

3.3.1.2.3 Notas sobre o estado da arte da ARCS

Com base na revisão da literatura da ARCS supramencionada, é possível identificar algumas importantes observações sobre o estado da arte do campo:

- A ARCS é a etapa mais estudada do processo de GRCS. O conceito de ARCS predominante na literatura está associado à ‘probabilidade de ocorrência’ e o ‘impacto/consequência’ dos riscos na cadeia de suprimentos (HALLIKAS; VIROLAINEN; TUOMINEN, 2002; HARLAND; BRENCHLEY; WALKER, 2003; KERN *et al.*, 2012; KLEINDORFER; SAAD, 2005; LAVASTRE; GUNASEKARAN; SPALANZANI, 2012; MANUJ; MENTZER, 2008; MITCHELL, 1995; SCHMITT; SINGH, 2012; ZSIDISIN *et al.*, 2004);
- A literatura anterior sobre a GRCS e, especificamente sobre a ARCS, não apresenta nenhuma estrutura de classificação que integra ‘riscos típicos’ [que estão associados a distúrbios, interrupções ou atrasos de operações e/ou processos da cadeia de suprimentos] e ‘riscos relacionados à sustentabilidade’ [que podem se manifestar através de reações críticas das partes interessadas]. Esta constatação converge com a investigação de Díaz-Curbelo, Espin Andrade e Gento Municio (2020), que ressaltam a falta de literatura sobre ARCS na qual se desenvolva uma gestão holística de risco, considerando-se os processos e as decisões intra e interorganizacionais. Além disso, a maior parte das abordagens existentes para identificação e avaliação de riscos da cadeia de suprimentos geralmente recorrem a critérios e técnicas operacionais e financeiras;
- Ao se estabelecer uma nova estrutura holística, abrangente e atualizada nesta pesquisa, que integra os riscos típicos e os riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos em ‘10 tipos de risco’ e ‘317 fatores de risco’, constata-se que o *risco de fornecimento* e o *risco ambiental* são os mais populares na literatura; ao contrário, o *risco de transporte* e o *risco econômico* atraíram menos atenção dos pesquisadores. Além disso, apesar da equivalência estrutural proposta para classificar os riscos típicos e os riscos sustentáveis, deve-se considerar a delimitação de algumas questões conceituais e práticas importantes do processo de GRCS e, particularmente, da ARCS;
- Na ARCS os métodos semiquantitativos e quantitativos são os mais usados, dentre os quais os métodos analíticos AHP, Fuzzy e FAHP são os mais aplicados. Contudo, não

se identifica na literatura anterior nenhuma investigação na qual a abordagem FAHP é utilizada para realizar uma avaliação integrada e abrangente envolvendo todos os ‘tipos de risco’ e ‘fatores de risco’ propostos neste estudo;

- Finalmente, cabe destacar que embora diversos algoritmos FAHP tenham sido desenvolvidos, incluindo a popular ‘Análise de Extensão Fuzzy’ (CHANG, 1996), ainda há pouca literatura sobre a viabilidade de implementação do método FAHP em um ambiente de manufatura prático e real. Além disso, há pouca discussão sobre o desenvolvimento e a aplicação de modelos ou ferramentas computacionais baseadas em métodos analíticos, tal como o FAHP, para dar suporte automatizado à ARCS.

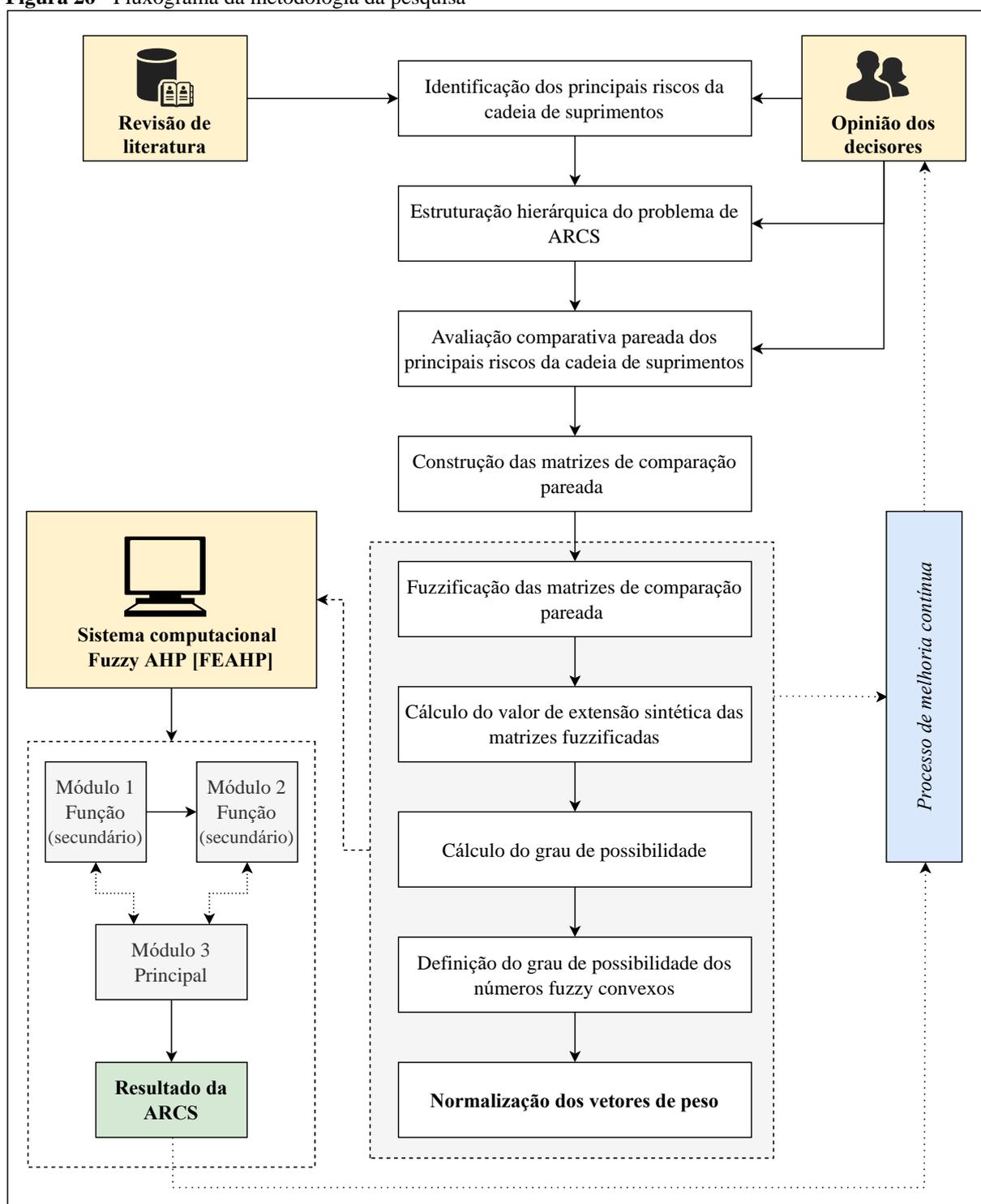
Deste modo, até onde se tem conhecimento, esta pesquisa é um esforço original na proposição de uma estrutura holística baseada na abordagem computacional do método *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process* (FEAHP) para a avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos.

3.3.1.3 Metodologia

Nesta pesquisa, o método FEAHP, introduzido por Chang (1996), é utilizado para viabilizar a estrutura holística de ARCS. Para automatizar o cálculo do método FEAHP, é desenvolvido um sistema computacional, em linguagem MATLAB®, versão R2020a, The MathWorks, Inc. O desenvolvimento desta ferramenta é motivado pelo atual contexto da transformação digital, *Big Data* e Indústria 4.0, que requer o uso de informações digitais para revisar a tomada de decisão, processos e arquiteturas intra e interorganizacionais (HOLMSTRÖM *et al.*, 2019; OLIVEIRA; LIMA NETO, 2021; ZHONG *et al.*, 2017). Além disso, um sistema de tomada de decisão baseado em computador permite a busca de soluções de ordem prática como a necessidade de se obter mais racionalidade, confiabilidade, flexibilidade e agilidade em um complexo processo decisório.

A Figura 26 apresenta o fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados neste estudo para a implementação da perspectiva holística de ARCS com o uso do método FEAHP baseado em computador.

Figura 26 - Fluxograma da metodologia da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2021).

Primeiramente, uma abrangente e atualizada relação de riscos típicos e riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos, extraídos da revisão de literatura discutida na seção 3.3.1.2.1, é apresentada às dez empresas participantes do estudo. A participação dessas empresas se dá através de suas respectivas equipes de decisores [técnicos,

analistas, gestores e executivos de diversas áreas estratégicas do negócio] em uma série de sessões de *brainstorming/brainwriting*, *entrevistas* e *questionários*. Tomando a literatura pertinente como ponto de partida, as equipes de decisores, em consenso, identificam os principais ‘tipos de risco’ [critérios] e ‘fatores de risco’ [subcritérios] relevantes para a sua cadeia de suprimentos.

A partir da identificação dos principais riscos da cadeia de suprimentos, é possível usar a abordagem AHP para estruturação hierárquica do problema de ARCS. A hierarquia dos critérios de decisão é o objeto de uma comparação entre pares no AHP, que converte as preferências humanas entre as alternativas disponíveis em "igual, não muito forte, forte, muito forte e extremamente forte" (SAATY, 1980). Após a construção dessa hierarquia, as equipes de decisores de cada empresa, em consenso, avaliam comparativamente a ‘probabilidade de ocorrência’ e o ‘impacto/consequência’ dos principais ‘tipos de risco’ [critérios] e ‘fatores de risco’ [subcritérios] em suas respectivas cadeias de suprimentos. Ou seja, são decididas as preferências de um ‘tipo de risco’ ou ‘fator de risco’ em relação a outro. Para tanto, são utilizados *questionários* que tornam mais fácil responder as perguntas da comparação pareada. As pesquisas anteriores disponíveis na área, as necessidades da empresa, o atual cenário de negócios, o conhecimento e a experiência dos decisores constituem a base principal para decidir as preferências.

Em seguida, é feita a construção das matrizes de comparação pareada dos quesitos avaliados. As variáveis linguísticas utilizadas nos *questionários* para fazer as comparações entre pares são convertidas em Números Fuzzy Triangulares (NFT), conforme mostra o Quadro 7. Assim, para cada variável linguística, três valores são associados, que correspondem aos valores ‘inferior (l_{ij})’, ‘médio (m_{ij})’ e ‘superior (u_{ij})’.

Quadro 7 - Variáveis linguísticas com valores fuzzy triangulares correspondentes

Variáveis linguísticas	Valor fuzzy triangular correspondente	Valor fuzzy triangular correspondente ao inverso
Igual	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Não muito forte	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Forte	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Muito Forte	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Extremamente forte	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)

Fonte: Autoria própria (2021).

A fuzzificação das matrizes de comparação pareada usando NFT é feita para tratar as incertezas, imprecisões, instabilidades e subjetividades do processo decisório, permitindo,

assim, a aplicação do método de ‘Análise de Extensão Fuzzy’. As avaliações comparativas pareadas individuais de cada empresa, resultantes da avaliação consensual de seus decisores, são reunidas e tratadas como um *processo de decisão em grupo*. Ou seja, cada empresa passa a representar ‘um decisor’ dentro de um ‘grupo de empresas decisoras’. Deste modo, há a agregação de todas as comparações pareadas das empresas em valores difusos únicos a serem submetidos à ‘Análise de Extensão Fuzzy’. Para tanto, é calculada a média geométrica de l_{ij} , m_{ij} e u_{ij} , conforme a Equação 22 (ASTANTI; MBOLLA; AI, 2020; MEIXNER, 2009).

$$l_{ij} = \left(\prod_{k=1}^k l_{ijk} \right)^{\frac{1}{k}}, m_{ij} = \left(\prod_{k=1}^k m_{ijk} \right)^{\frac{1}{k}}, u_{ij} = \left(\prod_{k=1}^k u_{ijk} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (22)$$

Com base nos resultados combinados de todas as empresas, é realizado o cálculo dos pesos finais das variáveis de decisão usando a ‘Análise de Extensão Fuzzy’ de Chang (1996), conforme é detalhado a seguir. Considere que $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ é um conjunto de objetos e $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$ é um conjunto de objetivos. Cada objeto é tomado e a análise de extensão para cada objetivo, g_i , é realizada, respectivamente. Portanto, m valores de análise de extensão para cada objeto podem ser obtidos, com os seguintes sinais: $M_{gi}^1, M_{gi}^2, M_{gi}^3, \dots, M_{gi}^m$ com $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Todos M_{gi}^j são NFT, ou seja, $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

Com base nesta premissa, a extensão sintética fuzzy em relação ao i th objeto pode ser definida de acordo com a Equação (23):

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (23)$$

Para obter $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$, a operação de adição fuzzy dos valores da análise de extensão m para uma matriz particular é realizada conforme a Equação (24):

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (24)$$

E para obter $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ o operador de adição fuzzy dos valores M_{gi}^j é realizado com a Equação (25):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (25)$$

Então, o inverso do vetor calculado é obtido de acordo com a Equação (26):

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (26)$$

O grau de possibilidade de $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ pode ser definido conforme a Equação (27):

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (27)$$

O resultado da Equação (27) corresponde ao ponto de interseção entre M_1 e M_2 [‘ponto (d)’]. Porém, para resolver a Equação (27), os cálculos estabelecidos na Equação (28) são necessários:

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (28)$$

O grau de possibilidade de um número fuzzy convexo ser maior do que k números fuzzy convexos $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$ pode ser definido pela Equação (29):

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ e } (M \geq M_2) \text{ e } \dots \text{ e } (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i) \end{aligned} \quad (29)$$

Considerando que a Equação (30) é:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (30)$$

Para $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$, o peso do vetor é dado pela Equação (31):

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (31)$$

Onde A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) são n elementos.

Por fim, os vetores de peso normalizados são calculados na Equação (32), onde W é um número não fuzzy:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (32)$$

O sistema computacional desenvolvido para automatizar o cálculo do método FEHP está estruturado em três módulos dinâmicos, interativos e interdependentes, como mostrado na Figura 26. Os *módulos 1* e *2* representam códigos de programação chamados de ‘função’ e o *módulo 3* corresponde ao ‘programa principal’. Na execução do sistema, os *módulos 1* e *2* são acionados pelo *módulo 3*. O *módulo 1* converte as matrizes de comparação pareada dos decisores e aplica o método de ‘Análise de Extensão Fuzzy’ para cada nível hierárquico do problema de decisão. No *módulo 2*, os resultados do *módulo 1* são estruturados em uma hierarquia geral do problema de decisão. Para tanto, o *módulo 2* executa diversas operações matemáticas que integram os resultados gerais do problema decisório. O *módulo 3* fornece a interface de comunicação do sistema com o usuário; inicialmente, ele é alimentado com informações reais do problema de decisão, ou seja, há a inserção da quantidade de critérios, subcritérios e alternativas; em seguida, ele reúne todos os valores obtidos nos *módulos 1* e *2* e calcula o valor final da ‘Análise de Extensão Fuzzy’. A interação entre os três módulos do sistema fornece como saída principal o resultado geral da ARCS.

Em suma, o sistema computacional FEHP é capaz de modelar a ‘Análise de Extensão Fuzzy’ de qualquer problema de decisão multicritério [passível de ser tratado pelo referido método], independentemente do número de variáveis. Se necessário, o resultado produzido pelo sistema FEHP pode ser aperfeiçoado de modo a atender melhor ao objetivo geral da decisão [ou avaliação]; neste caso, a opinião dos decisores sobre a identificação dos principais riscos [critérios e subcritérios], a estruturação do problema de decisão e a avaliação comparativa pareada podem ser retificados e, conseqüentemente, reprocessados pelo sistema em um mecanismo de melhoria contínua.

A partir do resultado da ARCS é possível priorizar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos usando um índice integral de risco (*IIR*), bem como definir o grau geral

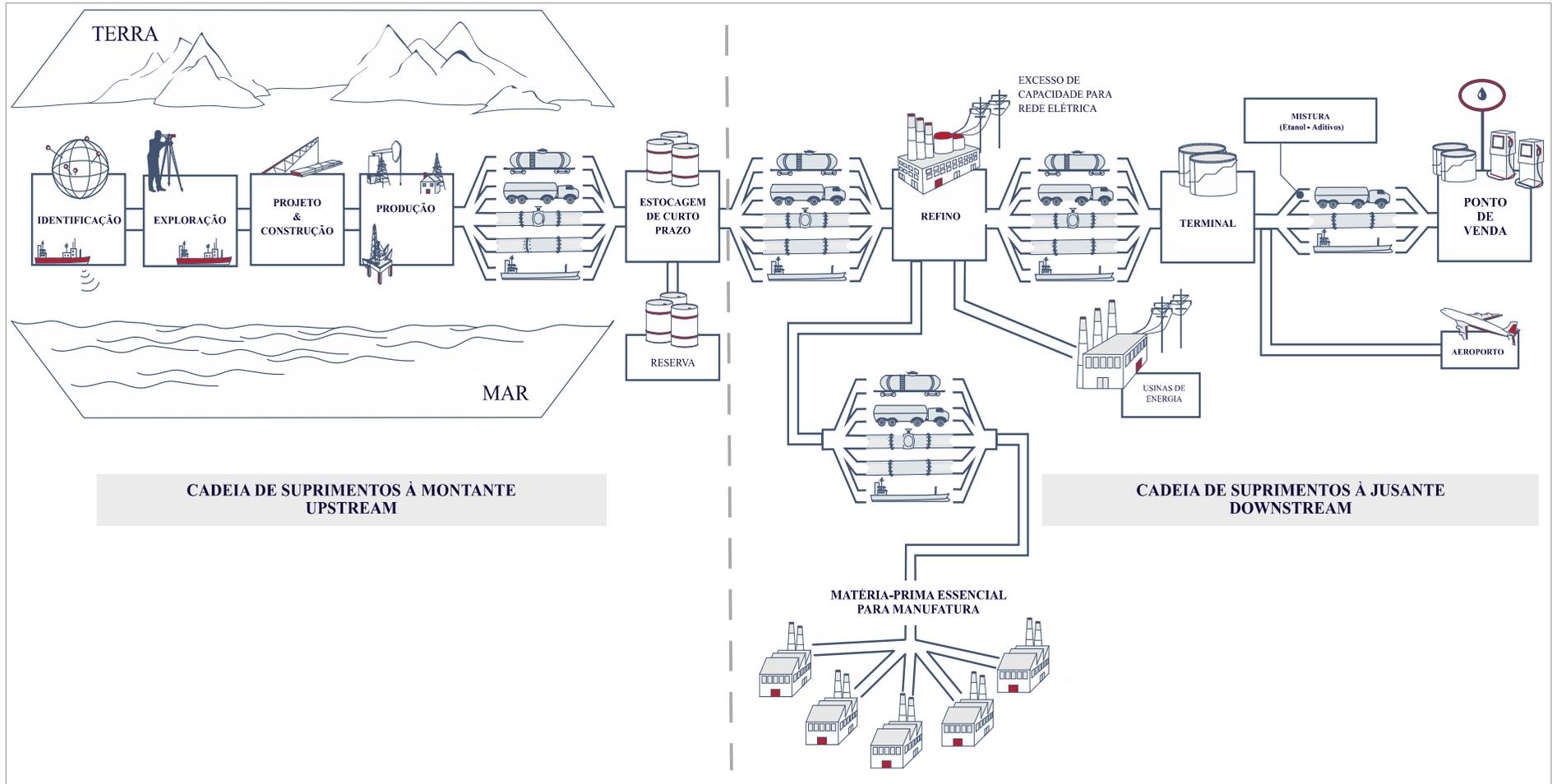
de risco da cadeia de suprimentos. Para demonstrar a aplicabilidade da estrutura holística de ARCS com o uso da abordagem computacional FEAHP é realizado o estudo de casos múltiplos de dez empresas de exploração e produção de petróleo e gás natural *onshore* do Brasil, conforme se discute a seguir.

3.3.1.4 Análise de dados: o caso da indústria brasileira de petróleo e gás natural *onshore*

A cadeia de suprimentos de petróleo e gás natural (CSPG) é considerada uma das mais importantes do mundo devido à sua alta interconexão com cadeias de suprimentos de outros setores, como saúde e medicamentos, alimentos, manufatura e serviços. Apesar do emergente paradigma da transição energética mundial (WEC, 2021), o desenvolvimento da indústria de petróleo e gás natural ainda se expande exponencialmente. Em razão disso, vários riscos, incertezas e vulnerabilidades podem atrapalhar os processos da CSPG, resultando em operações ineficientes, caras e com graves impactos ambientais e sociais (SAKIB *et al.*, 2021). Isso tem atraído a atenção de diversos pesquisadores (por exemplo, CARNEIRO; RIBAS; HAMACHER, 2010; ENYINDA *et al.*, 2011; FERNANDES; BARBOSA-PÓVOA; RELVAS, 2010; FLOR, 2012; SAINI; SAINI, 2014).

O petróleo e o gás natural podem ser obtidos de reservas terrestres [*onshore*] ou de reservas marítimas [*offshore*]. A estrutura da CSPG pode ser dividida em dois segmentos: à montante [*upstream*] e à jusante [*downstream*]. As atividades de exploração e produção (E&P) de petróleo bruto e gás natural constituem o segmento *upstream*. As atividades de transporte, processamento de petróleo bruto em refinarias, distribuição e comercialização de derivados referem-se ao segmento *downstream*. O petróleo e o gás natural produzidos são movimentados para terminais de transporte, chegando às refinarias através de oleodutos e gasodutos. Nas refinarias, o petróleo bruto é convertido em produtos do petróleo e enviado para os centros de distribuição e/ou comercialização (SINHA *et al.*, 2011). A Figura 27 mostra a estrutura típica da CSPG. Nela, são destacadas as principais atividades que compõem os segmentos *upstream* e *downstream*, desde a exploração até a venda final.

Figura 27 - Estrutura típica da CSPG



Fonte: adaptado de American Petroleum Institute (API) (2015).

O Brasil ocupa a posição de 10º maior produtor de petróleo no mundo. Ao todo, o país produziu, em média, 2,88 milhões de barris/dia em 2019. O volume produzido pelo Brasil consolida o país no posto de maior produtor da América Latina desde 2016. Em termos de reservas provadas de petróleo, o país possui, ao todo, 12,7 bilhões de barris, o que o coloca no 15º lugar no *ranking* global. Além disso, o Brasil está na 7ª posição mundial no consumo de produtos e serviços de petróleo e gás natural, demandando cerca de 3,1 milhões de barris/dia em 2019, o que equivale a 3,1% do total mundial. O país também é o 31º maior produtor de gás natural do mundo, totalizando 137 milhões de m³/dia (ANP, 2020).

Em 1940, foi descoberto o primeiro campo comercial de petróleo do Brasil na bacia do Recôncavo, Bahia. O desenvolvimento da sua produção deu-se a partir de 1941. Após a criação da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) em 1953, a produção brasileira de petróleo cresceu de forma consistente até os dias atuais. De acordo com a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 e explícito na Lei n. 9.478/1997 [a “Lei do Petróleo”], são propriedade da União os recursos minerais, de petróleo e gás natural existentes no seu território, incluindo as partes terrestre e marítima, além das atividades de E&P de petróleo e gás natural. Porém, a Lei do Petróleo estabelece que a União pode celebrar contratos com empresas estatais ou privadas para a execução das atividades de E&P mediante concessão, autorização ou contratação em regime de partilha de produção. Essa Lei ainda trata das atividades relacionadas ao monopólio do petróleo e os objetivos das políticas nacionais de uso racional dos recursos energéticos.

Os órgãos mais importantes criados na Lei do Petróleo são o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Juntamente com o Ministério de Minas e Energia (MME), esses órgãos definem as diretrizes estratégicas, as normas regulatórias e as políticas de E&P de petróleo e gás natural, respectivamente. O Setor exige sólido enquadramento ambiental, para que as atividades decorram de forma ambientalmente segura e sustentável. A Lei n. 6.938/1981 sobre a “Política Nacional do Meio Ambiente” estabelece que a operação de estabelecimentos e atividades que utilizem recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes de degradação ambiental, dependerão de licenciamentos anteriores.

Com a quebra do monopólio do petróleo no final dos anos 1990, a Petrobras concentrou esforços em investimentos de E&P de megacampos em águas ultraprofundas, com destaque recente para o pré-sal. Coube então às empresas de menor porte se dedicarem aos campos de petróleo *onshore*. Muitas compraram campos maduros terrestres para revitalizá-los por meio

da recuperação avançada de petróleo. Outras ainda realizaram campanhas exploratórias em novas bacias terrestres. Pelo contrato de concessão estabelecido, toda a produção dessas novas empresas pertence à Petrobras e deve ser vendido diretamente a ela. Em 2019, a Petrobras era responsável por 70% da produção *onshore* de petróleo com 193 mil barris/dia, o que representou apenas 5,7% de sua produção total. Os 30% restantes, equivalentes a 80 mil barris/dia, foram produzidos por 30 petroleiras independentes atuantes em campos terrestres. Sete dessas 30 operadoras foram as mais produtivas, controlando 33 campos, o que representou uma participação de 93,9% do total produzido pelo setor independente naquele ano (ANP, 2020).

A quebra do monopólio do petróleo brasileiro transformou a indústria terrestre em uma fonte de significativas oportunidades potenciais, das quais destacam-se: a. o fato do Brasil possuir uma das maiores áreas de bacias sedimentares com uma das piores taxas de atividade exploratória do mundo [cerca de 5%]; b. a parcela das bacias sedimentares que são exploradas ativamente apresenta baixo índice de fator de recuperação [21%] quando comparada a outros países; e, c. os campos operados pela Petrobras, que correspondem a mais de 93% dos campos terrestres brasileiros, tiveram uma queda acentuada devido aos baixos investimentos nos últimos anos (QUINTELLA; DELGADO; LIMA, 2020).

Em suma, o Brasil possui um potencial petrolífero altamente promissor com expectativa de descobertas de mais petróleo e gás natural em suas bacias terrestres, além de desafios de estimulação de novos negócios e de entrada de pequenas e médias empresas no ramo. Investir em técnicas de extração é uma grande oportunidade para o país, mas requer novas regulamentações e investimentos. Neste contexto, foi criado em 2017 o programa governamental de “Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural *Onshore* (REATE)”, com o objetivo de discutir as políticas para o setor, incluindo os atuais 298 campos terrestres, em 12 bacias sedimentares, além da exploração das Bacias da Nova Fronteira [áreas menos conhecidas ou com barreiras tecnológicas a serem superadas]. Outro importante estímulo para investimentos futuros no Setor foi apresentado no início de 2019, quando a Petrobras anunciou que pretendia vender 70% de seus 254 ativos localizados em campos maduros e em águas rasas no país. A maioria dos ativos está na região nordeste do Brasil e a maioria dos campos foram agrupados em *clusters*, os quais compreendem até 30 campos (ANP, 2020).

Para impulsionar as atividades da indústria de E&P de petróleo e gás natural *onshore* no país são necessários processos de escoamento, distribuição, comercialização, entre outros, que são amparados por uma extensa cadeia de suprimentos, disponível no Brasil e no exterior.

3.3.1.4.1 Características da CSPG *onshore* do Brasil

As operadoras de E&P de petróleo e gás natural *onshore* do Brasil utilizam um grupo grande e diversificado de fornecedores diretos e indiretos para a aquisição de produtos e serviços, inclusive de pequeno e médio porte. Para a E&P em áreas terrestres são necessários investimentos significativos em sísmica, perfuração de poços, instalações produtivas, unidades de bombagem e transferência dos fluidos produzidos. A diversificação entre fornecedores é muito importante, pois ao lado de grandes multinacionais de alto valor agregado, e muitas vezes de bens e serviços tecnológicos, um grande número de pequenas e médias empresas gravita em inúmeras atividades da CSPG *onshore*. A falta de eficiência na cadeia, em qualquer um dos seus elos, pode acarretar maiores custos para as operadoras e a diminuição da atratividade dos empreendimentos.

O Quadro 8 apresenta os produtos e serviços relacionados às atividades de E&P *onshore* por tipos de fornecedores, considerando a maior incidência.

Quadro 8 - Tipos de fornecedores e produtos e serviços ofertados

Tipo de empresa	Produtos e serviços
<i>Multinacionais</i>	Conjunto de orifício inferior Equipamento de elevação artificial Exploração madeireira Estimulação do poço Fluidos de perfuração
<i>Multinacionais e grandes fornecedores</i>	Tubos de revestimento Linhas de condução Acessórios de revestimento Válvula de alívio de pressão [API] Aquisição de dados de perfuração
<i>Fornecedores grandes e médios</i>	Bombas Compressores Cimento e aditivos Restauração
<i>Fornecedores locais</i>	Produtos químicos e reagentes Operações Sonolog/pesquisa acústica Oficina de máquinas Loja de tubos Serviços de laboratório

Fonte: adaptado de Quintella, Delgado e Lima (2020).

Frequentemente, as grandes operadoras conseguem atender parte de sua própria demanda por bens e serviços, enquanto as operadoras menores usam os serviços de empresas especializadas. Em relação aos principais equipamentos do segmento, os destaques são: revestimento de poço, broca, tubo de produção, *packers*, cabeça de poço, árvore de natal, unidades de bombeamento de haste de sugação, haste de sugação, bomba de fundo de poço, *manifolds*, válvulas e acessórios de tubos, bombas e compressores, vasos de pressão, trocador de calor, tanque de armazenamento e instrumento de medição. Normalmente, as empresas costumam adquirir esses equipamentos em conjunto com os serviços de instalação e manutenção. Além desses produtos e serviços, atividades de logística, alimentação, segurança do trabalho e atendimento a demandas legais, por exemplo, também são extremamente importantes para os projetos *onshore*.

Quintella, Delgado e Lima (2020) ressaltam que é fundamental que as ações da CSPG *onshore* do Brasil sejam direcionadas de forma sistêmica, para que haja atração de investimentos em E&P e, conseqüentemente, aumento da participação de novos fornecedores, investidores e mercados, promovendo o amplo desenvolvimento da Indústria. Conseqüentemente, isso evitaria ou mitigaria muitos dos atuais riscos inerentes ao Setor, tais como questões relacionadas às licenças regulatórias, a capacidade de acessar os mercados de capitais, incertezas operacionais de exploração, desenvolvimento e produção, riscos à saúde, segurança e meio ambiente, flutuações cambiais e nos preços de *commodities*, e mais recentemente, o impacto econômico e social causado pela pandemia mundial de Covid-19.

3.3.1.4.1.1 Estudo de casos múltiplos: as empresas pesquisadas da CSPG *onshore* do Brasil

Segundo a ANP (2020), em 2019 haviam 30 operadoras independentes de E&P de petróleo e gás natural *onshore* atuantes no Brasil. O *estudo de casos múltiplos* desenvolvido nesta pesquisa corresponde a um terço desta população, ou seja, dez companhias. As dez empresas investigadas foram escolhidas por serem tipicamente representativas do Setor em foco, além da disposição espontânea de participar do estudo.

Considerando o atual cenário de negócios resultante de sucessivas crises sofridas pelo Setor nos últimos anos, durante esta investigação as empresas reconheceram a necessidade emergente da ARCS para subsidiar ações e/ou tomadas de decisão com intuito de *mitigar* e *controlar* possíveis riscos, incertezas e vulnerabilidades com impactos/consequências

relevantes no desempenho empresarial. Portanto, a gestão de riscos é declaradamente de extrema importância para a competitividade desta Indústria. Este contexto, propicia a aplicação prática da estrutura holística de avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos usando a abordagem computacional FEAHP.

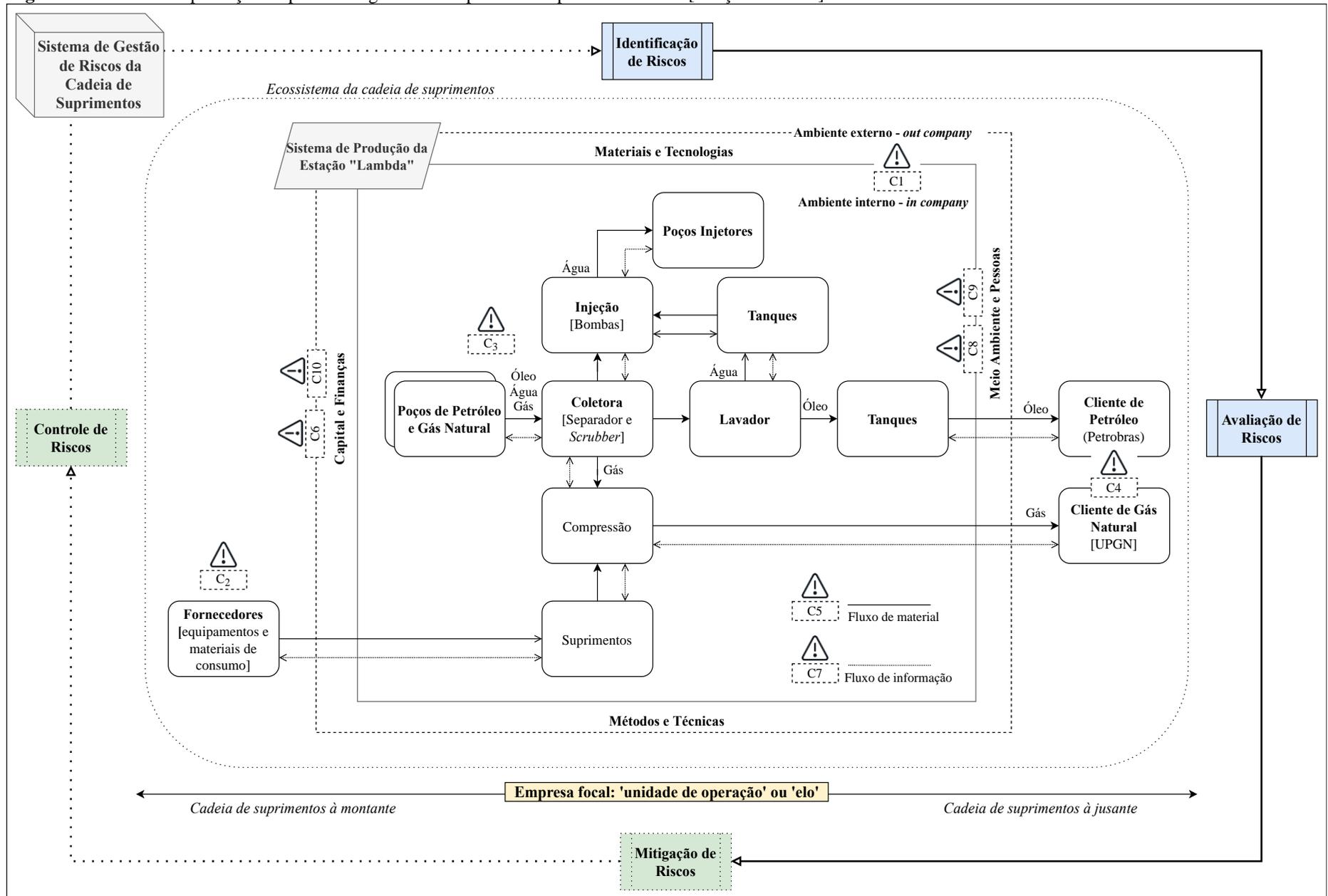
O Apêndice E apresenta a relação das empresas estudadas, destacando as suas características e o perfil dos seus decisores. Para dar sigilo a identidade das empresas, cada uma delas está rotulada com os “codinomes” *Alpha, Beta, Gamma, Delta, Epsilon, Zeta, Eta, Theta, Iota* e *Kappa*. Inicialmente, nota-se que a diversidade de nacionalidades das empresas pesquisadas demonstra o quão atrativo é o Setor para o mercado internacional. As empresas atuam principalmente na E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres de bacias sedimentares localizadas nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil. As empresas possuem até 400 empregados diretos. O faturamento anual de todas as empresas as classifica como de grande porte, em conformidade com a legislação brasileira.

As companhias participam do estudo através de suas respectivas equipes de tomadores de decisão que, por sua vez, são compostas por profissionais que ocupam cargos/funções em diversas áreas estratégicas do negócio [por exemplo, administrador, analista de suprimentos, assessor, coordenador, gerente de base, diretor, etc.]. A maior parte da produção dessas empresas ocorre no interior do país, ou seja, em municípios de baixa renda e baixo índice de desenvolvimento humano (IDH). Muitos deles dependem de *royalties* do petróleo para o dinamismo econômico em suas regiões. Estima-se que para cada 10.000 barris de produção de petróleo, são necessários 23.000 empregos diretos e indiretos (ANP, 2020).

Em dezembro de 2018, haviam mais de 6.500 poços produzindo petróleo em terra no Brasil. A bacia Potiguar concentrou 58% desses poços. A produção média dos poços da bacia do Solimões, a com menor nível de exploração, é 14 vezes a das demais bacias. Isso indica um amplo espaço para mais investimentos no Setor, seja com a exploração de novas fronteiras, seja pela revitalização da produção em bacias maduras (IBP, 2019).

A Figura 28 mostra um sistema de produção de petróleo e gás natural típico das empresas estudadas, nomeadamente estação *Lambda*.

Figura 28 - Sistema de produção de petróleo e gás natural típico das empresas estudadas [estação *Lambda*] e SGRCS



Fonte: Autoria própria (2021).

A estação *Lambda*¹⁵ tem uma área de aproximadamente 54.000m² e possui dois poços de petróleo conectados. A coleta da emulsão de óleo proveniente dos poços é realizada em tanques, e o óleo, depois de separado, é transferido por bombas para a estação da empresa cliente Petrobras. O gás natural gerado nesse processo é comprimido e destinado a uma unidade de processamento de gás natural (UPGN) externa, para posterior entrega a empresa cliente.

Observa-se na Figura 28 que a estação *Lambda* está inserida em um *Ecossistema da Cadeia de Suprimentos* do qual emanam diversos riscos dos ambientes interno e externo. Ela pode ser considerada como uma “unidade de operação” ou um “elo” com diversas relações de interdependência à montante e à jusante da CSPG. Em qualquer tarefa, atividade ou processo deste sistema de produção, desde o fornecedor ao cliente, há a provável incidência de riscos típicos e relacionados à sustentabilidade que podem causar danos à empresa focal e sua cadeia de suprimentos.

Esses riscos são: (*C*₁) *Risco catastrófico e internacional* - derivados dos ambientes interno e externo; (*C*₂) *Risco de fornecimento* - relativo a suprimentos de equipamentos e materiais de consumo; (*C*₃) *Risco de produção* - decorrente do fluxo das operações do “poço à saída do produto para o cliente”; (*C*₄) *Risco de demanda* - relativo ao cliente e seu mercado de atuação; (*C*₅) *Risco de transporte* - originário do fluxo de material intra e interorganizacional; (*C*₆) *Risco financeiro* - derivado do fluxo de finanças [faturamento, contas à pagar e à receber, etc.]; (*C*₇) *Risco de informação* - proveniente do fluxo de informação e tecnologias de comunicação; (*C*₈) *Risco ambiental* - referente ao meio ambiente; (*C*₉) *Risco social* - relativo às pessoas e a sociedade; e, (*C*₁₀) *Risco econômico* - proveniente do fluxo de capital [investimentos, crescimento no mercado, etc.].

O *framework* holístico proposto neste estudo permite identificar e avaliar a ‘probabilidade e o impacto’ desses riscos a partir da quantificação da percepção dos decisores; o resultado

¹⁵ Possui um tanque lavador com capacidade de 20.000 barris de óleo (bbl), dois tanques de armazenamento com capacidade de 20.000 bbl e um tanque pulmão para água de injeção de 2.000 bbl. Além disso, tem dois tanques de testes com volumes de 2.000 bbl, um tanque de teste com capacidade de 410 bbl, um tanque de teste com capacidade de 500 bbl, um tanque pulmão para água de caldeira de 491 bbl e um tanque pulmão para armazenamento de água industrial com capacidade de 20.000 bbl. Com exceção dos tanques de água industrial, água de injeção e de água para caldeira, cada tanque está equipado com serpentina de vapor para aquecimento da emulsão. Alguns tanques possuem chave de nível, transmissor de temperatura e medidor de nível tipo radar. A *Lambda* também possui diques de contenção nas áreas de tancagem, uma bomba de recuperação, três bombas de retratamento, uma bomba de desmulsificante, uma bomba de inibidor de corrosão, duas caldeiras, três separadores bifásicos, um *scrubber* [depurador], seis separadores de condensado, *flare* [queimador], caixa de recuperação e casa de bombas que contém três bombas *booster*, três bombas injetoras do tipo centrífuga multi-estágio e três bombas de transferência de óleo do tipo alternativa. Para o sistema de combate a incêndio existe uma bomba elétrica e uma bomba à diesel. Para o sistema de compressão de gás natural existem quatro compressores.

disso poderá subsidiar o estabelecimento de estratégias de *mitigação e controle de riscos* formando, assim, um *Sistema de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos* (SGRCS), como se discute a seguir.

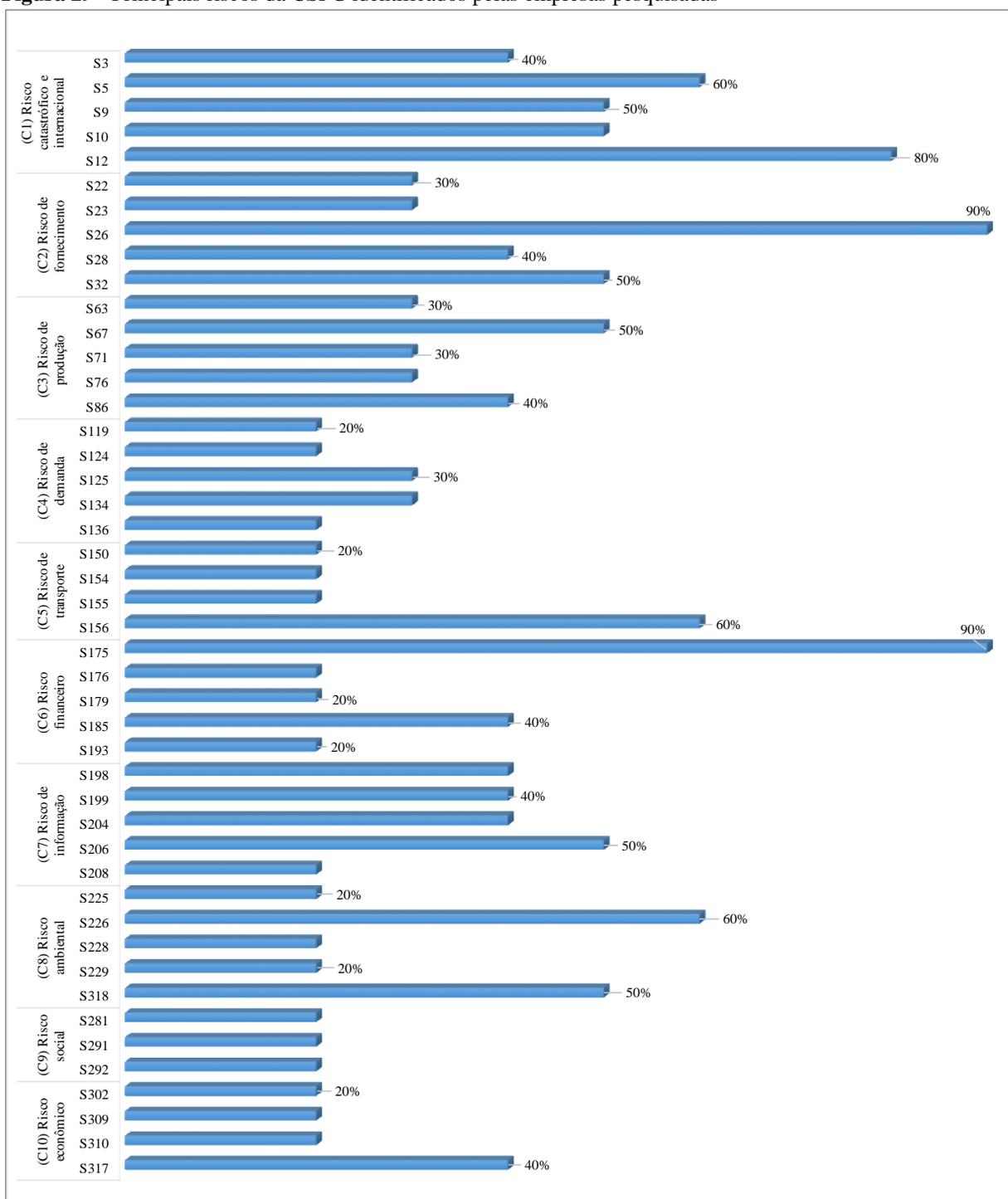
3.3.1.4.2 Identificação e avaliação de riscos da CSPG *onshore* do Brasil

As equipes de decisores de cada empresa, consensualmente, identificaram os principais riscos da cadeia de suprimentos a partir da literatura pertinente [como mostrado no Quadro 5], da qual são extraídos ‘10 tipos de risco’ (C_1 a C_{10}) e ‘317 fatores de risco’ (S_1 a S_{317}). Durante as sessões de *brainstorming/brainwriting* e *entrevistas*, os decisores validaram aqueles riscos propostos na literatura em termos de maior evidência de ‘probabilidade de ocorrência’ e ‘impacto ou consequência’. Além disso, eles identificaram um ‘outro fator de risco’ como sendo exclusivo da indústria terrestre de petróleo e gás natural estudada, que está sequencialmente rotulado como ‘(S_{318})’.

A Figura 29 apresenta os ‘tipos de risco’ e ‘fatores de risco’ identificados como os mais relevantes pelos decisores das empresas. A partir da identificação dos principais riscos da cadeia de suprimentos, a abordagem AHP é utilizada para a estruturação hierárquica do problema de ARCS. Para tanto, define-se o objetivo geral no primeiro nível [ARCS], os critérios no segundo nível [tipos de risco - C_x], os subcritérios no terceiro nível [fatores de risco - S_x] e as alternativas de decisão no quarto nível [graus de risco - A_x], conforme a Figura 30.

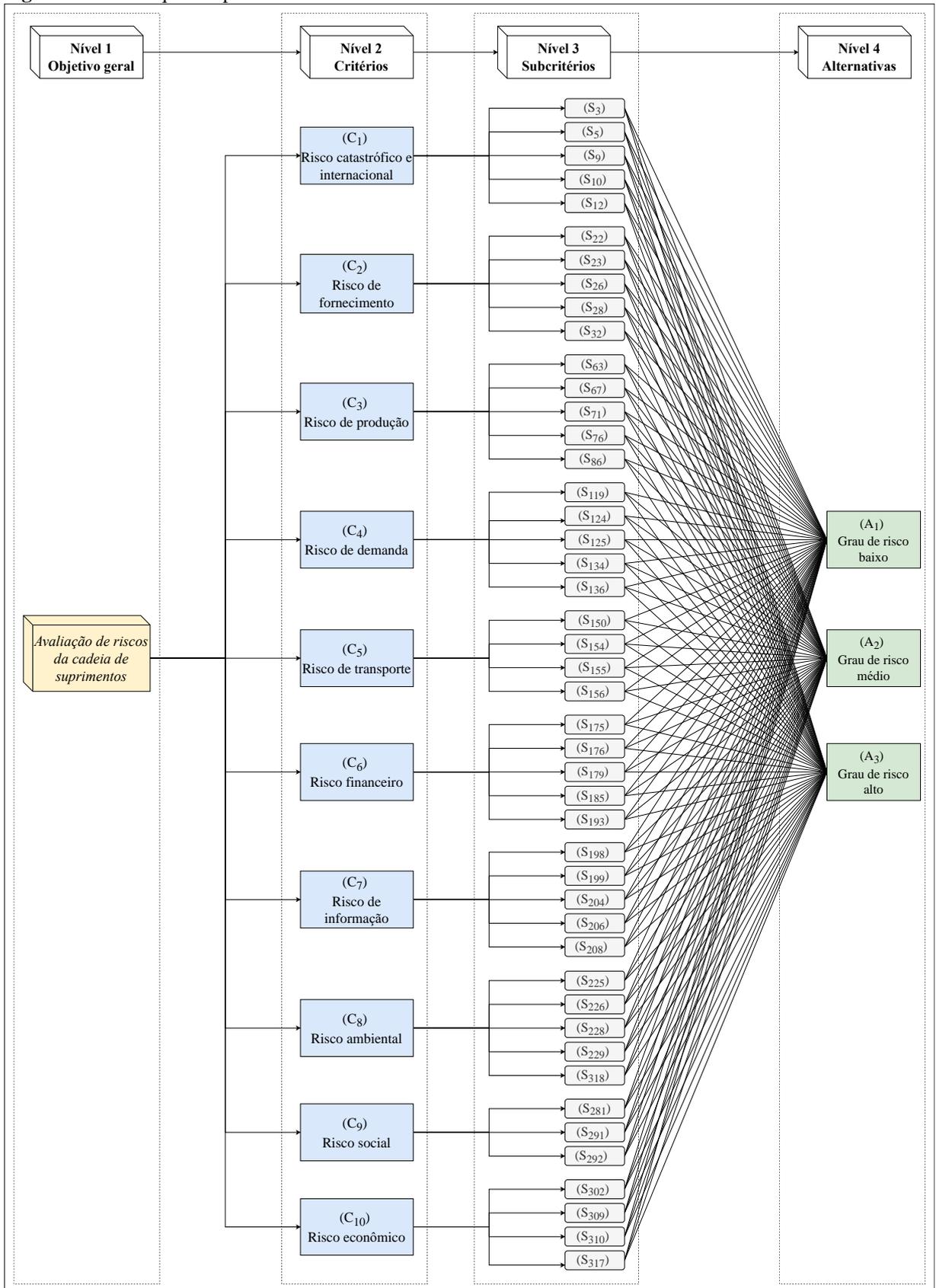
Após a construção da hierarquia do problema, as equipes de decisores, também de forma consensual, avaliaram comparativamente a ‘probabilidade de ocorrência’ e o ‘impacto/consequência’ dos principais critérios [10 tipos de risco], subcritérios [46 fatores de risco] e alternativas [3 graus de risco - (A_1) Baixo risco, (A_2) Médio risco e (A_3) Alto risco]. Em primeiro lugar, os decisores compararam os tipos de risco em relação ao objetivo geral, em seguida, compararam os fatores de risco em relação aos tipos de risco. Ao final, compararam os graus de risco em relação aos fatores de risco.

Figura 29 - Principais riscos da CSPG identificados pelas empresas pesquisadas



Fonte: Autoria própria (2021).

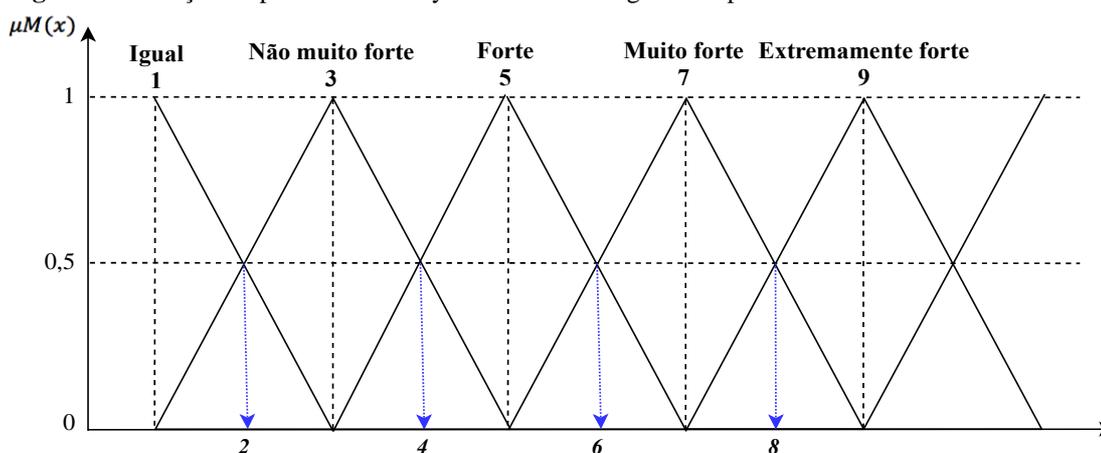
Figura 30 - Hierarquia do problema de ARCS da CSPG *onshore* do Brasil



Fonte: Autoria própria (2021).

Usando NFT para indicar a importância relativa de um quesito sobre o outro, um vetor de julgamento fuzzy é obtido para cada elemento da estrutura hierárquica estabelecida. Esses vetores de julgamento fazem parte da matriz de comparação pareada difusa, que é usada para determinar o peso de cada quesito. Como discutido anteriormente no Quadro 7, que mostrou o significado das variáveis linguísticas na forma de NFT correspondentes, a Figura 31 representa a função de pertinência fuzzy dessas variáveis linguísticas para os critérios, subcritérios e alternativas. Portanto, os decisores realizaram a avaliação comparativa pareada com base nessas expressões linguísticas através de *questionários*.

Figura 31 - Função de pertinência fuzzy das variáveis linguísticas para ARCS



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a agregação das avaliações das empresas usando a Equação (22), o método de ‘Análise de Extensão Fuzzy’ é aplicado para determinar pesos a partir das comparações pareadas. As empresas realizaram duas rodadas de avaliação, ou seja, na primeira rodada foi feita a avaliação da ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos, e na segunda rodada uma estimativa do possível ‘impacto/consequência’ dos riscos, caso eles se desenvolvam. Para demonstrar os resultados desta ARCS é feito o detalhamento numérico da aplicação da abordagem computacional FEAHP na primeira rodada de avaliação, ou seja, concernente à ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos. O procedimento descrito a seguir é igualmente executado na segunda rodada de avaliação relativa ao ‘impacto/consequência’ dos riscos.

Para a avaliação da ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos é construída uma primeira matriz de avaliação fuzzy referente à comparação pareada dos diferentes critérios em relação ao objetivo geral, conforme mostra a Tabela 10. Os valores da extensão sintética fuzzy com

relação a cada critério são calculados usando a Equação (23) e as operações algébricas fuzzy das Equações (24-26), conforme $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9$ e S_{10} :

$$S_1 = (51; 56; 61) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,218; 0,270; 0,336)$$

$$S_2 = (7,458; 7,542; 7,666) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,031; 0,036; 0,042)$$

$$S_3 = (12,666; 14,8; 17) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,054; 0,071; 0,009)$$

$$S_4 = (13,583; 15,733; 18) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,058; 0,075; 0,099)$$

$$S_5 = (5,875; 6,076; 6,416) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,025; 0,029; 0,035)$$

$$S_6 = (44; 52; 60) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,188; 0,250; 0,330)$$

$$S_7 = (17,541; 21,676; 25,916) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,075; 0,104; 0,142)$$

$$S_8 = (16,236; 20,253; 24,277) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,069; 0,097; 0,133)$$

$$S_9 = (6,569; 6,653; 6,777) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,028; 0,032; 0,037)$$

$$S_{10} = (6,569; 6,653; 6,777) \otimes \left(\frac{1}{233,833}; \frac{1}{207,390}; \frac{1}{181,5} \right) = (0,028; 0,032; 0,037)$$

O grau de possibilidade de S_i sobre S_j ($i \neq j$) é determinado usando a Equação (28), conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 10 - Avaliação fuzzy: critérios em relação ao objetivo geral - ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos

<i>O</i>	<i>C</i> ₁	<i>C</i> ₂	<i>C</i> ₃	<i>C</i> ₄	<i>C</i> ₅	<i>C</i> ₆	<i>C</i> ₇	<i>C</i> ₈	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀
<i>C</i> ₁	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(9, 9, 9)	(9, 9, 9)	(9, 9, 9)
<i>C</i> ₂	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/8, 1/7, 1/6)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
<i>C</i> ₃	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
<i>C</i> ₄	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
<i>C</i> ₅	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
<i>C</i> ₆	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)
<i>C</i> ₇	(1/6, 1/5, 1/4)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
<i>C</i> ₈	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(1/8, 1/7, 1/6)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
<i>C</i> ₉	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
<i>C</i> ₁₀	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 11 - Grau de possibilidade de *S_i* sobre *S_j*: critérios em relação ao objetivo geral - ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_3 \geq S_1) = 0$	$V(S_5 \geq S_1) = 0$	$V(S_7 \geq S_1) = 0$	$V(S_9 \geq S_1) = 0$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_5 \geq S_2) = 0,3284$	$V(S_7 \geq S_2) = 1$	$V(S_9 \geq S_2) = 0,5596$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 0,8877$	$V(S_5 \geq S_3) = 0$	$V(S_7 \geq S_3) = 1$	$V(S_9 \geq S_3) = 0$
$V(S_1 \geq S_5) = 1$	$V(S_3 \geq S_5) = 1$	$V(S_5 \geq S_4) = 0$	$V(S_7 \geq S_4) = 1$	$V(S_9 \geq S_4) = 0$
$V(S_1 \geq S_6) = 1$	$V(S_3 \geq S_6) = 0$	$V(S_5 \geq S_6) = 0$	$V(S_7 \geq S_5) = 1$	$V(S_9 \geq S_5) = 1$
$V(S_1 \geq S_7) = 1$	$V(S_3 \geq S_7) = 0,36$	$V(S_5 \geq S_7) = 0$	$V(S_7 \geq S_6) = 0$	$V(S_9 \geq S_6) = 0$
$V(S_1 \geq S_8) = 1$	$V(S_3 \geq S_8) = 0,4795$	$V(S_5 \geq S_8) = 0$	$V(S_7 \geq S_8) = 1$	$V(S_9 \geq S_7) = 0$
$V(S_1 \geq S_9) = 1$	$V(S_3 \geq S_9) = 1$	$V(S_5 \geq S_9) = 0,7227$	$V(S_7 \geq S_9) = 1$	$V(S_9 \geq S_8) = 0$
$V(S_1 \geq S_{10}) = 1$	$V(S_3 \geq S_{10}) = 1$	$V(S_5 \geq S_{10}) = 0,7227$	$V(S_7 \geq S_{10}) = 1$	$V(S_9 \geq S_{10}) = 1$
$V(S_2 \geq S_1) = 0$	$V(S_4 \geq S_1) = 0$	$V(S_6 \geq S_1) = 0,8536$	$V(S_8 \geq S_1) = 0$	$V(S_{10} \geq S_1) = 0$
$V(S_2 \geq S_3) = 0$	$V(S_4 \geq S_2) = 1$	$V(S_6 \geq S_2) = 1$	$V(S_8 \geq S_2) = 1$	$V(S_{10} \geq S_2) = 0,5596$
$V(S_2 \geq S_4) = 0$	$V(S_4 \geq S_3) = 1$	$V(S_6 \geq S_3) = 1$	$V(S_8 \geq S_3) = 1$	$V(S_{10} \geq S_3) = 0$
$V(S_2 \geq S_5) = 1$	$V(S_4 \geq S_5) = 1$	$V(S_6 \geq S_4) = 1$	$V(S_8 \geq S_4) = 1$	$V(S_{10} \geq S_4) = 0$
$V(S_2 \geq S_6) = 0$	$V(S_4 \geq S_6) = 0$	$V(S_6 \geq S_5) = 1$	$V(S_8 \geq S_5) = 1$	$V(S_{10} \geq S_5) = 1$
$V(S_2 \geq S_7) = 0$	$V(S_4 \geq S_7) = 0,4574$	$V(S_6 \geq S_7) = 1$	$V(S_8 \geq S_6) = 0$	$V(S_{10} \geq S_6) = 0$
$V(S_2 \geq S_8) = 0$	$V(S_4 \geq S_8) = 0,577$	$V(S_6 \geq S_8) = 1$	$V(S_8 \geq S_7) = 0,8955$	$V(S_{10} \geq S_7) = 0$
$V(S_2 \geq S_9) = 1$	$V(S_4 \geq S_9) = 1$	$V(S_6 \geq S_9) = 1$	$V(S_8 \geq S_9) = 1$	$V(S_{10} \geq S_8) = 0$
$V(S_2 \geq S_{10}) = 1$	$V(S_4 \geq S_{10}) = 1$	$V(S_6 \geq S_{10}) = 1$	$V(S_8 \geq S_{10}) = 1$	$V(S_{10} \geq S_9) = 1$

Fonte: Autoria própria (2021).

Utilizando a Equação (30), o grau mínimo de possibilidade é estabelecido como:

$$d'(S_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}) = \min(1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1) = 1$$

$$d'(S_2) = V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}) = \min(0; 0; 0; 1; 0; 0; 0; 1; 1) = 0$$

$$d'(S_3) = V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}) = \min(0; 1; 0,8877; 1; 0; 0,36; 0,4795; 1; 1) = 0$$

$$d'(S_4) = V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}) = \min(0; 1; 1; 1; 0; 0,4574; 0,577; 1; 1) = 0$$

$$d'(S_5) = V(S_5 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}) = \min(0; 0,3284; 0; 0; 0; 0; 0; 0,7227; 0,7227) = 0$$

$$d'(S_6) = V(S_6 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_7, S_8, S_9, S_{10}) = \min(0,8536; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1) = 0,8536$$

$$d'(S_7) = V(S_7 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_8, S_9, S_{10}) = \min(0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1) = 0$$

$$d'(S_8) = V(S_8 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_9, S_{10}) = \min(0; 1; 1; 1; 1; 0; 0,8955; 1; 1) = 0$$

$$d'(S_9) = V(S_9 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_{10}) = \min(0; 0,5596; 0; 0; 1; 0; 0; 0; 1) = 0$$

$$d'(S_{10}) = V(S_{10} \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \min(0; 0,5596; 0; 0; 1; 0; 0; 0; 1) = 0$$

Portanto, com a Equação (31), o vetor de peso é dado como $W' = (1; 0; 0; 0; 0; 0; 0,8536; 0; 0; 0; 0)^T$. Após o processo de normalização, o vetor de peso em relação aos critérios de decisão $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9$ e S_{10} é representado através da Equação (32) como $W_{op} = (0,5395; 0; 0; 0; 0; 0; 0,4605; 0; 0; 0; 0)^T$.

A Tabela 12 mostra os pesos finais resultantes das avaliações dos critérios em relação ao objetivo geral considerando-se tanto a ‘probabilidade de ocorrência’ quanto o ‘impacto/consequência’ dos riscos.

Tabela 12 - Pesos finais: avaliações dos critérios em relação ao objetivo geral

	Crítérios (tipos de risco - C_x)	Probabilidade de ocorrência	Impacto/consequência
C_1	Risco catastrófico e internacional	0,5395	0,9476
C_2	Risco de fornecimento	0	0
C_3	Risco de produção	0	0
C_4	Risco de demanda	0	0
C_5	Risco de transporte	0	0
C_6	Risco financeiro	0,4605	0,0514
C_7	Risco de informação	0	0
C_8	Risco ambiental	0	0,0011
C_9	Risco social	0	0
C_{10}	Risco econômico	0	0

Fonte: Autoria própria (2021).

Posteriormente, o mesmo procedimento descrito acima é desenvolvido para avaliar os diferentes subcritérios em relação aos critérios, bem como as diferentes alternativas de decisão em relação aos subcritérios, em ambas rodadas de avaliação de riscos. A Tabela 13 e a Tabela 14 mostram os pesos finais resultantes dessas avaliações, respectivamente.

Tabela 13 - Pesos finais: avaliações dos subcritérios em relação aos critérios

Critérios (tipos de risco - C_x)	Subcritérios (fatores de risco - S_x)	Probabilidade de ocorrência	Impacto/consequência
(C_1) Risco catastrófico e internacional	S_3 Acidentes com incêndios	0	0
	S_5 Instabilidade econômica	0,1682	0
	S_9 Regulamentos governamentais	0,1682	0
	S_{10} Epidemias e pandemias	0,3318	1
	S_{12} Preços de commodities	0,3318	0
(C_2) Risco de fornecimento	S_{22} Falha em atender requisitos de entrega	0	0,8255
	S_{23} Não é possível fornecer preços competitivos	0,2701	0
	S_{26} Fornecimento único	0,3649	0,1745
	S_{28} Dependência de fornecedores	0,3649	0
	S_{32} Número reduzido de fornecedores intermediários	0	0
(C_3) Risco de produção	S_{63} Acidentes com funcionários	0	1
	S_{67} Funcionários resistentes à mudança	0	0
	S_{71} Falta de comunicação entre equipes de trabalho	0,4055	0
	S_{76} Riscos ocupacionais (físicos, químicos e biológicos)	0,5423	0
	S_{86} Capacidade de produção	0,0522	0
(C_4) Risco de demanda	S_{119} Previsões de demanda imprecisas	0	0
	S_{124} Variabilidade da demanda	0	0
	S_{125} Falta ou falha de segmentação de clientes	0	0
	S_{134} Mudanças de mercado	1	1
	S_{136} Produção interna insuficiente para a demanda	0	0
(C_5) Risco de transporte	S_{150} Falta de eficácia na saída do transporte	0	0
	S_{154} Falhas de entrega dentro do prazo e orçamento	0	0
	S_{155} Danos e acidentes de transporte	1	1
	S_{156} Baixa qualidade das rodovias e estradas	0	0
	(C_6) Risco financeiro	S_{175} Flutuações da taxa de câmbio da moeda	0,6795
S_{176} Flutuações de preço dos produtos e/ou serviços		0,3205	0
S_{179} Falta de solidez financeira dos clientes		0	0
S_{185} Incertezas de crescimento de mercado		0	0
S_{193} Risco fiscal		0	0
(C_7) Risco de Informação	S_{198} Ameaças físicas à infraestrutura de informações	0	0
	S_{199} Integração de sistemas ou ampla rede de sistemas	0	0
	S_{204} Segurança da Internet	0,5	0
	S_{206} Ameaças à segurança de TI (vírus, hackers e hacktivistas)	0,5	0
	S_{208} Vazamento intencional ou não intencional de informações	0	1
(C_8) Risco ambiental	S_{225} Consumo ineficiente de energia	0	0
	S_{226} Acidentes ambientais	0	0,5
	S_{228} Não conformidade ambiental da empresa	0	0
	S_{229} Poluição causada pela empresa	0	0,5
	S_{318} Outros: dificuldade de licenciamento ambiental	1	0
(C_9) Risco social	S_{281} Desafios demográficos (emprego, imigração, etc.)	1	0
	S_{291} Não conformidade com as normas internacionais de saúde e segurança ocupacional (SSO)	0	0,5
	S_{292} Falhas trabalhistas e/ou de direitos humanos	0	0,5
(C_{10}) Risco econômico	S_{302} Suborno ou corrupção	0	1
	S_{309} Captação e gerenciamento financeiro sustentável	0	0
	S_{310} Riscos de sustentabilidade econômica de governos	1	0
	S_{317} Risco de preço de energia e sustentabilidade	0	0

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 14 - Pesos finais: avaliações das alternativas em relação aos subcritérios

Subcritérios (fatores de risco - S_x)	Alternativas (graus de risco - A_x)	Probabilidade de ocorrência	Impacto/consequência
(S_3) Acidentes com incêndios	A_1 Baixo	1	0
	A_2 Médio	0	0,5909
	A_3 Alto	0	0,4091
(S_5) Instabilidade econômica	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	0	0,8205
	A_3 Alto	1	0,1795
(S_9) Regulamentos governamentais	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	0	0,4712
	A_3 Alto	1	0,5288
(S_{10}) Epidemias e pandemias	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	0	0,4712
	A_3 Alto	1	0,5288
(S_{12}) Preços de commodities	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	0	0
	A_3 Alto	1	1
(S_{22}) Falha em atender requisitos de entrega	A_1 Baixo	1	0
	A_2 Médio	0	0,5909
	A_3 Alto	0	0,4091
(S_{23}) Não é possível fornecer preços competitivos	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	0	0,8205
	A_3 Alto	1	0,1795
(S_{26}) Fornecimento único	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	0	0,8205
	A_3 Alto	1	0,1795
(S_{28}) Dependência de fornecedores	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	1	0,8205
	A_3 Alto	0	0,1795
(S_{32}) Número reduzido de fornecedores intermediários	A_1 Baixo	1	1
	A_2 Médio	0	0
	A_3 Alto	0	0
(S_{63}) Acidentes com funcionários	A_1 Baixo	0,7859	0
	A_2 Médio	0,2141	0
	A_3 Alto	0	1
(S_{67}) Funcionários resistentes à mudança	A_1 Baixo	1	1
	A_2 Médio	0	0
	A_3 Alto	0	0
(S_{71}) Falta de comunicação entre equipes de trabalho	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	1	0,4712
	A_3 Alto	0	0,5288
(S_{76}) Riscos ocupacionais (físicos, químicos e biológicos)	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	0	0,4712
	A_3 Alto	1	0,5288
(S_{86}) Capacidade de produção	A_1 Baixo	1	1
	A_2 Médio	0	0
	A_3 Alto	0	0
(S_{119}) Previsões de demanda imprecisas	A_1 Baixo	1	1
	A_2 Médio	0	0
	A_3 Alto	0	0
(S_{124}) Variabilidade da demanda	A_1 Baixo	1	1
	A_2 Médio	0	0
	A_3 Alto	0	0
(S_{125}) Falta ou falha de segmentação de clientes	A_1 Baixo	1	1
	A_2 Médio	0	0
	A_3 Alto	0	0
(S_{134}) Mudanças de mercado	A_1 Baixo	0	0
	A_2 Médio	0	0,2141
	A_3 Alto	1	0,7859
(S_{136}) Produção interna insuficiente para a demanda	A_1 Baixo	1	1
	A_2 Médio	0	0
	A_3 Alto	0	0
	A_1 Baixo	1	1

(S ₁₅₀) Falta de eficácia na saída do transporte	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	1	1
(S ₁₅₄) Falhas de entrega dentro do prazo e orçamento	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	0	0
(S ₁₅₅) Danos e acidentes de transporte	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	1	1
	A ₁	Baixo	1	0
(S ₁₅₆) Baixa qualidade das rodovias e estradas	A ₂	Médio	0	0,4712
	A ₃	Alto	0	0,5288
	A ₁	Baixo	0	0
(S ₁₇₅) Flutuações da taxa de câmbio da moeda	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	1	1
	A ₁	Baixo	0	0
(S ₁₇₆) Flutuações de preço dos produtos e/ou serviços	A ₂	Médio	1	0,8205
	A ₃	Alto	0	0,1795
	A ₁	Baixo	1	1
(S ₁₇₉) Falta de solidez financeira dos clientes	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	1	1
(S ₁₈₅) Incertezas de crescimento de mercado	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	1	0,5288
(S ₁₉₃) Risco fiscal	A ₂	Médio	0	0,4712
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	0,5579	0,5288
(S ₁₉₈) Ameaças físicas à infraestrutura de informações	A ₂	Médio	0,4421	0,4712
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	1	0,5288
(S ₁₉₉) Integração de sistemas ou ampla rede de sistemas	A ₂	Médio	0	0,4712
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	0,7859	0,5288
(S ₂₀₄) Segurança da Internet	A ₂	Médio	0,2141	0,4712
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	0,7859	0,5288
(S ₂₀₆) Ameaças à segurança de TI (vírus, hackers e hacktivistas)	A ₂	Médio	0,2141	0,4712
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	1	0
(S ₂₀₈) Vazamento intencional ou não intencional de informações	A ₂	Médio	0	0,4712
	A ₃	Alto	0	0,5288
	A ₁	Baixo	0	1
(S ₂₂₅) Consumo ineficiente de energia	A ₂	Médio	0,8205	0
	A ₃	Alto	0,1795	0
	A ₁	Baixo	0,5288	0
(S ₂₂₆) Acidentes ambientais	A ₂	Médio	0,4712	0
	A ₃	Alto	0	1
	A ₁	Baixo	1	0
(S ₂₂₈) Não conformidade ambiental da empresa	A ₂	Médio	0	0,4712
	A ₃	Alto	0	0,5288
	A ₁	Baixo	1	0
(S ₂₂₉) Poluição causada pela empresa	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	0	1
	A ₁	Baixo	0	0
(S ₃₁₈) Outros: dificuldade de licenciamento ambiental	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	1	1
	A ₁	Baixo	1	1
(S ₂₈₁) Desafios demográficos (emprego, imigração, etc.)	A ₂	Médio	0	0
	A ₃	Alto	0	0
	A ₁	Baixo	1	0
(S ₂₉₁) Não conformidade com as normas internacionais de saúde e segurança ocupacional (SSO)	A ₂	Médio	0	0,4712
	A ₃	Alto	0	0,5288
	A ₁	Baixo	1	0
(S ₂₉₂) Falhas trabalhistas e/ou relacionadas aos direitos humanos	A ₂	Médio	0	0,4712

	A_3	Alto	0	0,5288
(S_{302}) Suborno ou corrupção	A_1	Baixo	0,359	0
	A_2	Médio	0,641	0,4712
	A_3	Alto	0	0,5288
(S_{309}) Captação e gerenciamento financeiro sustentável	A_1	Baixo	0	0,4091
	A_2	Médio	0,8205	0,5909
	A_3	Alto	0,1795	0
(S_{310}) Riscos de sustentabilidade econômica de governos	A_1	Baixo	0	0
	A_2	Médio	1	0,4712
	A_3	Alto	0	0,5288
(S_{317}) Risco de preço de energia e sustentabilidade	A_1	Baixo	1	0,5288
	A_2	Médio	0	0,4712
	A_3	Alto	0	0

Fonte: Autoria própria (2021).

Já os pesos das alternativas em relação a cada critério são calculados pela combinação sumária da soma dos pesos por alternativa multiplicados pelos pesos dos subcritérios correspondentes. Como exemplo, a Tabela 15 mostra o cálculo dos pesos das alternativas em relação ao critério (C_1) da avaliação de ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos. Esta mesma conduta é realizada no cálculo dos pesos das alternativas em relação a todos os demais critérios das avaliações de ‘probabilidade de ocorrência’ e de ‘impacto/consequência’ dos riscos.

Tabela 15 - Combinação sumária dos pesos finais: subcritérios do critério C_1 - ‘probabilidade de ocorrência’

Pesos dos subcritérios (S_x)	(S_3) Acidentes com incêndios	(S_5) Instabilidade econômica	(S_9) Regulamentos governamentais	(S_{10}) Epidemias e pandemias	(S_{12}) Preços de commodities	Pesos das alternativas
	0	0,1682	0,1682	0,3318	0,3318	
Alternativas						
A_1 Baixo risco	1	0	0	0	0	0
A_2 Médio risco	0	0	0	0	0	0
A_3 Alto risco	0	1	1	1	1	1

Fonte: Autoria própria (2021).

Por fim, os pesos finais de cada alternativa são calculados somando os pesos por alternativa multiplicados pelos pesos dos critérios correspondentes. Os resultados deste procedimento em relação à rodada de avaliação da ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos são mostrados na Tabela 16, que apresenta a combinação sumária dos pesos finais em relação aos critérios do objetivo geral. Neste ponto, a alternativa que obtém o maior peso final refere-se ao grau de risco preponderante da cadeia de suprimentos. A Tabela 17 apresenta os pesos finais das alternativas A_1 , A_2 e A_3 , aqui denominados *graus de risco finais*, resultantes da ARCS, considerando-se tanto a ‘probabilidade de ocorrência’ quanto a estimativa do ‘impacto/consequência’ dos riscos.

Tabela 16 – Combinação sumária dos pesos finais: critérios do objetivo geral - ‘probabilidade de ocorrência’ dos riscos

Pesos dos critérios (C _x)	(C ₁) Risco catastrófico e internacional	(C ₂) Risco de fornecimento	(C ₃) Risco de produção	(C ₄) Risco de demanda	(C ₅) Risco de transporte	(C ₆) Risco financeiro	(C ₇) Risco de Informação	(C ₈) Risco ambiental	(C ₉) Risco social	(C ₁₀) Risco econômico	Pesos finais das alternativas
	0,5395	0	0	0	0	0,4605		0	0	0	
Alternativas											
A ₁ Baixo risco	0	0	0,0522	0	1	0	0,7859	0	1	0	0
A ₂ Médio risco	0	0,3649	0,4055	0	0	0,3205	0,2141	0	0	1	0,1476
A ₃ Alto risco	1	0,6351	0,5423	1	0	0,6795	0	1	0	0	0,8524

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 17 - Graus de risco finais resultantes da ARCS de petróleo e gás natural *onshore* do Brasil

Alternativas (graus de risco - A _x)	Probabilidade de ocorrência	Impacto/consequência
A ₁ Baixo risco	0	0
A ₂ Médio risco	0,1476	0,4465
A ₃ Alto risco	0,8524	0,5535

Fonte: Autoria própria (2021).

3.3.1.4.3 Priorização dos riscos e grau geral de risco da CSPG *onshore* do Brasil

A partir da identificação e avaliação dos riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos das empresas pesquisadas, descritas anteriormente, é possível priorizar os riscos mais importantes usando um índice integral de risco (*IIR*). Esse *IIR* permite conciliar as medidas de ‘probabilidade de ocorrência’ e ‘impacto/consequência’ dos riscos, conforme propõe a literatura proeminente do campo que considera o risco como “a probabilidade de perda” e a “significância da perda” para o indivíduo ou organização (por exemplo, HALLIKAS; VIROLAINEN; TUOMINEN, 2002; HARLAND; BRENCHLEY; WALKER, 2003; KERN *et al.*, 2012; LAVASTRE; GUNASEKARAN; SPALANZANI, 2012; MITCHELL, 1995).

Assim, o *IIR* é o resultado da Equação (33) que considera o risco de um evento n a partir da ‘probabilidade de perda’ [$P(perda_n)$] e o ‘impacto da perda’ [$L(perda_n)$].

$$IIR(Riscon) = P(perda_n) \times I(perda_n) \quad (33)$$

Quanto maior o valor do *IIR*, maior é a prioridade final do risco. Após a aplicação da Equação (33) utilizando-se os pesos finais das avaliações de ‘probabilidade de ocorrência’ e ‘impacto/consequência’ apurados na Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 17, é possível estabelecer a classificação de prioridade final dos riscos da CSPG *onshore* brasileira. Para tanto, são considerados apenas os riscos com valor de *IIR* diferente de zero. A Tabela 18 mostra o *IIR* das avaliações dos critérios em relação ao objetivo geral e a respectiva classificação de prioridade final dos critérios.

Tabela 18 - Índice integral de risco (*IIR*): classificação de prioridade final dos critérios

Objetivo geral (ARCS)	Critérios (tipos de risco - C_x)	Probabilidade de ocorrência	Impacto/consequência	<i>IIR</i>	Classificação de prioridade final
-	C_1 Risco catastrófico e internacional	0,5395	0,9476	0,5112302	1
-	C_6 Risco financeiro	0,4605	0,0514	0,0236697	2

Fonte: Autoria própria (2021).

Os critérios (C_1) *Risco catastrófico e internacional* e (C_6) *Risco financeiro* são os únicos que obtiveram valores significativos de *IIR* e, portanto, são classificados, respectivamente, como o primeiro e segundo tipos de risco prioritários da cadeia de suprimentos das empresas

estudadas. Da mesma maneira, a Tabela 19 apresenta o *IIR* das avaliações dos subcritérios em relação aos critérios e a respectiva classificação de prioridade final dos subcritérios.

Tabela 19 - Índice integral de risco (*IIR*): classificação de prioridade final dos subcritérios

Critérios (tipos de risco - C_x)	Subcritérios (fatores de risco - S_x)	Probabilidade de ocorrência	Impacto/ consequência	<i>IIR</i>	Classificação de prioridade final
(C_1) Risco catastrófico e internacional	S_{10} Epidemias e pandemias	0,3318	1	0,3318	3
(C_2) Risco de fornecimento	S_{26} Fornecimento único	0,3649	0,1745	0,0636	4
(C_4) Risco de demanda	S_{134} Mudanças de mercado	1	1	1	1
(C_5) Risco de transporte	S_{155} Danos e acidentes de transporte	1	1	1	1
(C_6) Risco financeiro	S_{175} Flutuações da taxa de câmbio da moeda	0,6795	1	0,6795	2

Fonte: A autoria própria (2021).

A ordem classificação de prioridade final dos subcritérios [fatores de risco] é a seguinte: 1 '(S_{134}) Mudanças de mercado' e '(S_{155}) Danos e acidentes de transporte', 2 '(S_{175}) Flutuações da taxa de câmbio da moeda', 3 '(S_{10}) Epidemias e pandemias' e 4 '(S_{26}) Fornecimento único'. A alta prioridade final dos fatores de risco (S_{10}) e (S_{175}) ratifica a importância dos tipos de risco prioritários (C_1) e (C_6) mostrados na Tabela 18.

Já a Tabela 20 mostra o *IIR* das avaliações das alternativas [graus de risco] em relação aos subcritérios e a classificação de prioridade final das alternativas dos subcritérios. Seguindo a mesma lógica anterior de preferência pelos riscos mais importantes, destaca-se aqui apenas a classificação de prioridade final dos graus de risco '(A_2) Médio risco' e '(A_3) Alto risco' em relação aos seguintes subcritérios: '(A_2) Médio risco' - 1 '(S_{28}) Dependência de fornecedores' e '(S_{176}) Flutuações de preço dos produtos e/ou serviços', 2 '(S_{309}) Captação e gerenciamento financeiro sustentável', 3 '(S_{71}) Falta de comunicação entre equipes de trabalho' e '(S_{310}) Riscos de sustentabilidade econômica de governos', 4 '(S_{302}) Suborno ou corrupção', 5 '(S_{198}) Ameaças físicas à infraestrutura de informações' e 6 '(S_{204}) Segurança da Internet' e '(S_{206}) Ameaças à segurança de TI [vírus, *hackers* e *hacktivistas*]'; e, '(A_3) Alto risco' - 1 '(S_{12}) Preços de *commodities*', '(S_{155}) Danos e acidentes de transporte', '(S_{175}) Flutuações da taxa de câmbio da moeda' e '(S_{318}) Outros: dificuldade de licenciamento ambiental', 2 '(S_{134}) Mudanças de mercado', 3 '(S_9) Regulamentos governamentais', '(S_{10}) Epidemias e pandemias' e '(S_{76}) Riscos ocupacionais (físicos, químicos e biológicos)', 4 '(S_5) Instabilidade econômica', '(S_{23}) Não é possível fornecer preços competitivos' e '(S_{26}) Fornecimento único'.

Tabela 20 - Índice integral de risco (*IIR*): classificação de prioridade final das alternativas dos subcritérios

Subcritérios (fatores de risco - S_x)	Alternativas (graus de risco - A_x)		Probabilidade de ocorrência	Impacto/ consequência	<i>IIR</i>	Classificação de prioridade final
(S_{32}) Número reduzido de fornecedores intermediários	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{67}) Funcionários resistentes à mudança	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{86}) Capacidade de produção	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{119}) Previsões de demanda imprecisas	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{124}) Variabilidade da demanda	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{125}) Falta ou falha de segmentação de clientes	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{136}) Produção interna baixa ou insuficiente para atender a demanda	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{150}) Falta de eficácia na saída do transporte	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{154}) Falhas de entrega dentro do prazo e orçamento	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{179}) Falta de solidez financeira dos clientes	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{185}) Incertezas de crescimento de mercado	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{193}) Risco fiscal	A_1	Baixo	1	0,5288	0,5288	2
(S_{198}) Ameaças físicas à infraestrutura de informações	A_1	Baixo	0,5579	0,5288	0,29501752	4
(S_{199}) Integração de sistemas ou ampla rede de sistemas	A_1	Baixo	1	0,5288	0,5288	2
(S_{204}) Segurança da Internet	A_1	Baixo	0,7859	0,5288	0,41558392	3
(S_{206}) Ameaças à segurança de TI (vírus, hackers e hacktivistas)	A_1	Baixo	0,7859	0,5288	0,41558392	3
(S_{281}) Desafios demográficos (emprego, imigração, etc.)	A_1	Baixo	1	1	1	1
(S_{317}) Risco de preço de energia e sustentabilidade	A_1	Baixo	1	0,5288	0,5288	2
(S_{28}) Dependência de fornecedores	A_2	Médio	1	0,8205	0,8205	1
(S_{71}) Falta de comunicação entre equipes de trabalho	A_2	Médio	1	0,4712	0,4712	3
(S_{176}) Flutuações de preço dos produtos e/ou serviços	A_2	Médio	1	0,8205	0,8205	1
(S_{198}) Ameaças físicas à infraestrutura de informações	A_2	Médio	0,4421	0,4712	0,20831752	5
(S_{204}) Segurança da Internet	A_2	Médio	0,2141	0,4712	0,10088392	6
(S_{206}) Ameaças à segurança de TI (vírus, hackers e hacktivistas)	A_2	Médio	0,2141	0,4712	0,10088392	6
(S_{302}) Suborno ou corrupção	A_2	Médio	0,641	0,4712	0,3020392	4
(S_{309}) Captação e gerenciamento financeiro sustentável	A_2	Médio	0,8205	0,5909	0,48483345	2
(S_{310}) Riscos de sustentabilidade econômica de governos	A_2	Médio	1	0,4712	0,4712	3
(S_5) Instabilidade econômica	A_3	Alto	1	0,1795	0,1795	4
(S_9) Regulamentos governamentais	A_3	Alto	1	0,5288	0,5288	3
(S_{10}) Epidemias e pandemias	A_3	Alto	1	0,5288	0,5288	3
(S_{12}) Preços de commodities	A_3	Alto	1	1	1	1
(S_{23}) Não é possível fornecer preços competitivos	A_3	Alto	1	0,1795	0,1795	4
(S_{26}) Fornecimento único	A_3	Alto	1	0,1795	0,1795	4
(S_{76}) Riscos ocupacionais (físicos, químicos e biológicos)	A_3	Alto	1	0,5288	0,5288	3
(S_{134}) Mudanças de mercado	A_3	Alto	1	0,7859	0,7859	2
(S_{155}) Danos e acidentes de transporte	A_3	Alto	1	1	1	1
(S_{175}) Flutuações da taxa de câmbio da moeda	A_3	Alto	1	1	1	1
(S_{318}) Outros: dificuldade de licenciamento ambiental	A_3	Alto	1	1	1	1

Fonte: Autoria própria (2021).

Ressalta-se que os cinco principais fatores de risco apresentados na Tabela 19 (S_{10} , S_{26} , S_{134} , S_{155} e S_{175}) são também designados como de ‘alto grau de risco’ na classificação de prioridade final das alternativas dos subcritérios mostrada na Tabela 20. Por fim, a Tabela 21 apresenta o *IIR* das avaliações finais das alternativas [*graus de risco finais*]. A alternativa que obteve o maior *IIR* representa ao grau de risco prioritário da cadeia de suprimentos, ou melhor, o *grau geral de risco* da CSPG *onshore* do Brasil.

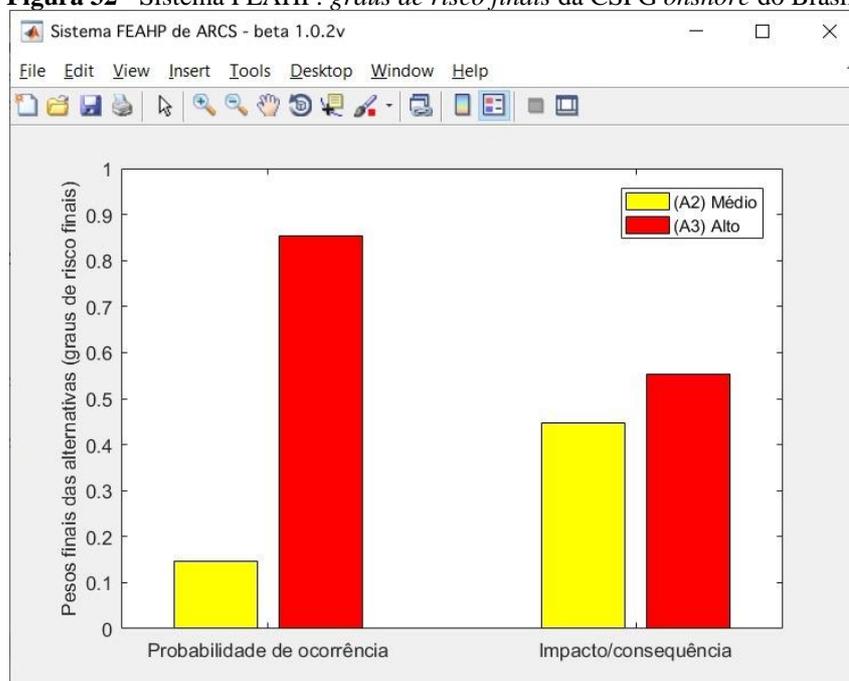
Tabela 21 - Índice integral de risco (*IIR*): *grau geral de risco* da CSPG *onshore* do Brasil

Alternativas (graus de risco - A_x)	Probabilidade de ocorrência	Impacto/ consequência	<i>IIR</i>	Classificação de prioridade final
(A_2) Médio risco	0,1476	0,4465	0,0659034	2
(A_3) Alto risco	0,8524	0,5535	0,4718034	1

Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com os valores finais do *IIR* das alternativas, o grau ‘(A_3) Alto risco’ obteve a primeira posição prioritária [0,4718034], seguido pelo grau ‘(A_2) Médio risco’, na segunda colocação de prioridade [0,0659034]. A Figura 32 mostra os *graus de risco finais* na interface do sistema computacional FEAHP. Nela, as cores amarelo e vermelho representam os *graus de risco* ‘(A_2) Médio risco’ e ‘(A_3) Alto risco’, respectivamente. O eixo vertical corresponde à escala de valores dos pesos finais das alternativas referentes às avaliações de ‘probabilidade de ocorrência’ e ‘impacto/consequência’.

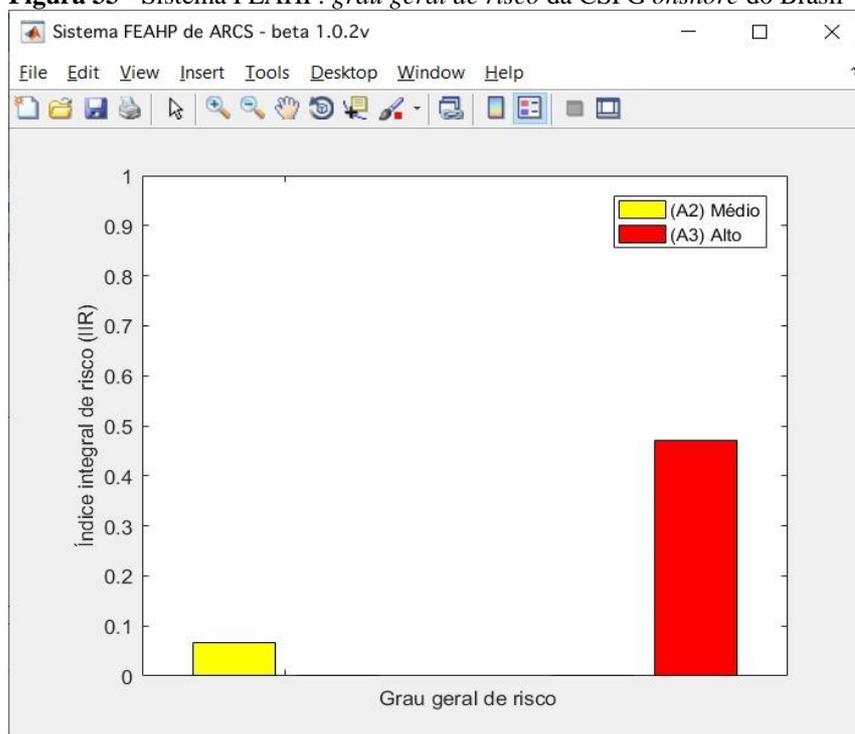
Figura 32 - Sistema FEAHP: *graus de risco finais* da CSPG *onshore* do Brasil



Fonte: Autoria própria (2021).

Da mesma forma, a Figura 33 mostra os *IIR* finais correspondentes ao *grau geral de risco* da CSPG *onshore* do Brasil.

Figura 33 - Sistema FEAHP: *grau geral de risco* da CSPG *onshore* do Brasil



Fonte: Autoria própria (2021).

3.3.1.5 Discussão dos resultados

Inicialmente, é possível constatar que as empresas pesquisadas identificaram como relevantes vários riscos relacionados com todos os ‘10 tipos de risco (C_1 a C_{10})’ considerados na literatura anterior da GRCS. Quarenta e cinco fatores de risco [aproximadamente 14,2%] dos ‘317 fatores de risco (S_1 a S_{317})’ propostos na literatura pertinente foram validados pelas empresas estudadas. Apenas um único fator de risco ‘(S_{318}) Outros: dificuldade de licenciamento ambiental’ foi identificado como exclusivo da Indústria investigada, distinguindo-se, assim, dos demais fatores de risco da maioria das empresas.

Posteriormente, a partir dos resultados da avaliação de ‘probabilidade de ocorrência’ e ‘impacto/consequência’ dos riscos identificados, descobre-se que a maior parte dos pesos finais dos riscos típicos e relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos obtiveram valor igual a zero. Ou seja, muitos ‘tipos de risco’, ‘fatores de risco’ e ‘graus de risco’ receberam

peso final igual a zero, seja em relação à ‘probabilidade de ocorrência’ ou ‘impacto/consequência’, seja em relação a ambas dimensões da avaliação. Conforme mostrado na Tabela 12, entre os tipos de risco com maior ‘probabilidade de ocorrência’ destacam-se o (C_1) *Risco catastrófico e internacional* com peso final de 0,5395, seguido pelo (C_6) *Risco financeiro* com peso final de 0,4605. Quanto aos tipos de risco com maior ‘impacto/consequência’, caso se desenvolvam, destacam-se o (C_1) *Risco catastrófico e internacional* com peso final de 0,9476, o (C_6) *Risco financeiro* com peso final igual a 0,0514 e o (C_8) *Risco ambiental* com peso final de 0,0011.

Os demais pesos finais das avaliações de ‘probabilidade de ocorrência’ e ‘impacto/consequência’ dos fatores de risco e graus de risco são mostrados na Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 17. Os *graus de risco finais* com maior ‘probabilidade de ocorrência’ são o ‘(A_3) Alto risco’ com peso final igual a 0,8524, seguido pelo ‘(A_2) Médio risco’ com peso final de 0,1476. Já os *graus de risco finais* com maior ‘impacto/consequência’ são, primeiramente, o ‘(A_3) Alto risco’ com peso final de 0,5535, seguido pelo ‘(A_2) Médio risco’ com peso final igual a 0,4465.

A priorização dos principais riscos através do *IIR* permite produzir uma classificação de prioridade final mais assertiva, homogênea e integrativa, considerando-se os resultados mais importantes tanto da avaliação da ‘probabilidade de ocorrência’ quanto da estimativa do possível ‘impacto/consequência’ dos riscos. A Tabela 22 sintetiza os *IIR* dos riscos típicos e sustentáveis da CSPG *onshore* brasileira de acordo com a estrutura holística de ARCS usando a abordagem computacional FEAHP.

O tipo de risco (C_1) *Risco catastrófico e internacional* é considerado o mais importante pelas empresas investigadas. Esse risco se refere a eventos ou situações externas adversas e relativamente raras que podem ter alto impacto negativo na cadeia de suprimentos. Ele consiste em riscos naturais [desastre natural, terremotos, tsunamis, incêndios, etc.] e riscos causados pelo homem ou fontes diversas de incertezas [guerra e terrorismo, instabilidade política e econômica, questões legais externas, epidemias e pandemias, etc.]. O petróleo bruto é uma *commodity* importante e um componente estratégico necessário para o desenvolvimento e crescimento econômico dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Deste modo, os preços do petróleo, gás natural e derivados podem impactar a inflação, a taxa de desemprego, o comércio, o consumo, a pobreza e outras condições econômicas em muitos países.

Tabela 22 - Síntese dos *IIR* dos riscos típicos e sustentáveis da CSPG *onshore* do Brasil de acordo com a estrutura holística de ARCS

Nível 1 Objetivo geral						
Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos						
Nível 2 Critérios		Avaliação de critérios (tipos de risco - C_x)	<i>IIR</i>	Classificação de prioridade final	Riscos típicos	Riscos relacionados à sustentabilidade
	C_1	Risco catastrófico e internacional	0,5112302	1	✓	
	C_6	Risco financeiro	0,0236697	2	✓	
Nível 3 Subcritérios		Avaliação de subcritérios (fatores de risco - S_x)	<i>IIR</i>	Classificação de prioridade final	Riscos típicos	Riscos relacionados à sustentabilidade
	S_{134}	Mudanças de mercado	1	1	✓	
	S_{155}	Danos e acidentes de transporte	1	1	✓	
	S_{175}	Flutuações da taxa de câmbio da moeda	0,6795	2	✓	
	S_{10}	Epidemias e pandemias	0,3318	3	✓	
	S_{26}	Fornecimento único	0,0636	4	✓	
Nível 4 Alternativas		Avaliação de alternativas (graus de risco - A_x)	<i>IIR</i>	Classificação de prioridade final	Riscos típicos	Riscos relacionados à sustentabilidade
		(S_{28}) Dependência de fornecedores	0,8205	1	✓	
		(S_{176}) Flutuações de preço dos produtos e/ou serviços	0,8205	1	✓	
		(S_{309}) Captação e gerenciamento financeiro sustentável	0,48483345	2		✓
		(S_{71}) Falta de comunicação entre equipes de trabalho	0,4712	3	✓	
	A_2 Médio	(S_{310}) Riscos de sustentabilidade econômica de governos	0,4712	3		✓
		(S_{302}) Suborno ou corrupção	0,3020392	4		✓
		(S_{198}) Ameaças físicas à infraestrutura de informações	0,20831752	5	✓	
		(S_{204}) Segurança da Internet	0,10088392	6	✓	
		(S_{206}) Ameaças à segurança de TI (vírus, <i>hackers</i> e <i>hacktivistas</i>)	0,10088392	6	✓	
		(S_{12}) Preços de <i>commodities</i>	1	1	✓	
		(S_{155}) Danos e acidentes de transporte	1	1	✓	
		(S_{175}) Flutuações da taxa de câmbio da moeda	1	1	✓	
		(S_{318}) Outros: dificuldade de licenciamento ambiental	1	1		✓
		(S_{134}) Mudanças de mercado	0,7859	2	✓	
	A_3 Alto	(S_9) Regulamentos governamentais	0,5288	3	✓	
		(S_{10}) Epidemias e pandemias	0,5288	3	✓	
		(S_{76}) Riscos ocupacionais (físicos, químicos e biológicos)	0,5288	3	✓	
		(S_5) Instabilidade econômica	0,1795	4	✓	
		(S_{23}) Não é possível fornecer preços competitivos	0,1795	4	✓	
		(S_{26}) Fornecimento único	0,1795	4	✓	
Grau geral de risco da CSPG <i>onshore</i> do Brasil			<i>IIR</i>	Classificação de prioridade final		
			A_3 Alto	0,4718034	1	
			A_2 Médio	0,0659034	2	

Fonte: Autoria própria (2021).

A CSPG *onshore* brasileira, por sua vez, é interconectada com numerosos elos de várias redes de empresas nacionais e internacionais. Contudo, esses elos são propensos a rupturas, falências, mudanças macroeconômicas e políticas e desastres naturais que levam a riscos mais altos. Todos estes elementos acrescidos às recentes mudanças globais causadas pela pandemia do coronavírus [Covid-19], além de um impulso mais forte dos governos em direção à transição energética para um futuro de baixo carbono corroboram a alta prioridade do (C_1) *Risco catastrófico e internacional*.

O segundo tipo de risco mais importante foi o (C_2) *Risco financeiro*, que está relacionado com eventos que comprometem a capacidade das empresas da cadeia de suprimentos de contar com recursos financeiros necessários à realização de suas atividades. Como visto, a CSPG *onshore* brasileira está profundamente inserida na economia global, sendo, portanto, suscetível a uma série de eventos de risco financeiro. A vulnerabilidade financeira do Setor pode ser constatada nas sucessivas crises vivenciadas no país e no mundo, principalmente, ao longo das últimas décadas. Recentemente, as incertezas financeiras da Indústria ganharam destaque com os impactos/consequências da crise de Covid-19. Houve um declínio histórico na demanda global de petróleo em 2020, o que provocou uma diminuição dramática dos investimentos globais no seguimento *upstream*. Em 2020, as operadoras de E&P de petróleo e gás natural gastaram um terço menos do que o planejado, fazendo com que as despesas de capital caíssem para o seu nível mais baixo desde 2006. Além disso, a crise financeira induzida pela pandemia desencadeou em uma nova reformulação de custos que, junto com a redução da atividade-fim, foram responsáveis pela queda nos gastos. Em economias que dependem fortemente das receitas do petróleo e gás natural, os governos tiveram que tomar decisões difíceis sobre a alocação de receitas cada vez menores neste período. Em contrapartida, o investimento estrangeiro foi dissuadido pelo ambiente macroeconômico incerto. O atual foco do Setor é reconquistar a confiança do investidor priorizando o pagamento de dívidas e dividendos, e superar os prejuízos. Acredita-se que a partir de 2021, o investimento total à montante da CSPG deverá se recuperar marginalmente (IEA, 2021a).

Em relação aos fatores de risco prioritários, destacam-se, em primeiro lugar, as incertezas e vulnerabilidades relacionadas às ‘(S_{134}) Mudanças de mercado’ e aos ‘(S_{155}) Danos e acidentes de transporte’. O macroambiente global da CSPG oferece oportunidades, mas impõe ameaças. Questões demográficas, econômicas, naturais, políticas e culturais podem provocar mudanças significativas no mercado de bens e serviços de petróleo, gás natural e derivados. Por exemplo, atualmente, a Petrobras detém o controle de refinarias no Brasil, e essa condição lhe

confere vantagens comerciais na compra da produção privada de petróleo. A decisão recente de vender algumas das refinarias da Petrobras ao setor privado, isoladamente, não será uma solução para este problema (QUINTELLA; DELGADO; LIMA, 2020). Para tornar o seguimento *onshore* brasileiro mais competitivo, mudanças de mercado mais profundas devem promover o amplo amadurecimento do seguimento *midstream* [que envolve processos de transporte, refino, armazenamento e comercialização de petróleo e gás natural], maximizando a economicidade das atividades da CSPG terrestre.

Além disso, o transporte de petróleo e gás natural *onshore* no Brasil é realizado para o escoamento da produção dos campos de exploração até as instalações de armazenamento e de processamento, bem como para a distribuição dos produtos processados. Portanto, o transporte do petróleo e seus derivados constitui uma importante etapa no processo de produção e utilização destes recursos. Para tanto, são utilizados, principalmente, oleodutos, gasodutos, navios e caminhões. Como o Brasil é um país com dimensões continentais e vastas reservas ambientais, transportar petróleo bruto, gás natural e derivados é sempre uma operação sujeita a possíveis danos e acidentes com consequências perigosas.

Embora com menor intensidade, outros fatores de risco também foram definidos como prioritários pelas empresas estudadas: ‘(S_{175}) Flutuações da taxa de câmbio da moeda’, ‘(S_{10}) Epidemias e pandemias’ e ‘(S_{26}) Fornecimento único’. Os fatores de risco (S_{10}) e (S_{175}) estão diretamente relacionados aos tipos de risco mais importantes (C_1) e (C_6), respectivamente. A cotação do petróleo corresponde ao seu preço em determinado momento, no mercado no qual é negociado, sendo o resultado da oferta e da demanda da *commodity*. Como a sua unidade de medida é em “dólares por barril”, qualquer oscilação na taxa de câmbio da moeda americana em relação à moeda brasileira pode produzir riscos para a Indústria *onshore* nacional.

Em complemento, como discutido anteriormente, em 2020 a pandemia de Covid-19 causou uma queda sem precedentes na demanda global de petróleo. Contudo, esse declínio não é necessariamente duradouro. Na ausência de grandes mudanças políticas por parte dos governos em prol da transição energética e mudanças mais rápidas no comportamento de consumo mundial, a demanda global de petróleo deverá aumentar nos próximos anos. Já o consumo de gás natural foi menos impactado do que o consumo de petróleo em 2020. Uma recuperação progressiva da demanda de gás natural está sendo observada à medida que os bloqueios causados pela pandemia diminuem. A demanda de produtos derivados, como a gasolina, pode nunca retornar aos níveis anteriores à pandemia, já que os ganhos de eficiência e a mudança para veículos elétricos são crescentes no mundo em desenvolvimento. Em

contraste, apesar dos esforços para conter o uso de plásticos e incentivar a reciclagem, a demanda por plásticos e produtos petroquímicos está crescendo fortemente (IEA, 2021a). Acredita-se que o risco de ‘epidemias e pandemias’ estará cada vez mais no radar dos tomadores de decisão da CSPG. Por fim, o risco de ‘fornecimento único’ também foi notado pelas empresas pesquisadas. Essa vulnerabilidade pode aumentar a dependência com o fornecedor, diminuindo o poder de barganha do comprador, além de impactar a performance das operações industriais de E&P *onshore*.

Quanto aos graus de risco prioritários, constata-se que nove fatores de risco foram avaliados como sendo de ‘(A₂) Médio risco’ (S₂₈, S₁₇₆, S₃₀₉, S₇₁, S₃₁₀, S₃₀₂, S₁₉₈, S₂₀₄, S₂₀₆) e 11 fatores de risco como sendo de ‘(A₃) Alto risco’ (S₁₂, S₁₅₅, S₁₇₅, S₃₁₈, S₁₃₄, S₉, S₁₀, S₇₆, S₅, S₂₃, S₂₆). Os fatores de risco avaliados com o grau ‘(A₁) Baixo risco’ são desprezados para fins de análise. Os principais fatores de risco enquadrados no grau ‘(A₂) Médio risco’, de acordo com a classificação de prioridade final, são ‘(S₂₈) Dependência de fornecedores’, ‘(S₁₇₆) Flutuações de preço dos produtos e/ou serviços’, ‘(S₃₀₉) Captação e gerenciamento financeiro sustentável’, ‘(S₇₁) Falta de comunicação entre equipes de trabalho’ e ‘(S₃₁₀) Riscos de sustentabilidade econômica de governos’.

Cinco dos fatores com ‘(A₃) Alto risco’ são definidos como os mais importantes da CSPG investigada (S₁₀, S₂₆, S₁₃₄, S₁₅₅ e S₁₇₅). Além disso, um destaque especial é dado ao fator de alto risco ‘(S₃₁₈) Dificuldade de licenciamento ambiental’, identificado como sendo exclusivo da CSPG *onshore* brasileira. Pois, no Brasil é necessária uma licença ambiental antes do início de qualquer atividade de E&P. À *priori*, o licenciamento da atividade *onshore* no país é de responsabilidade dos Estados que, apesar de seguirem às diretrizes da legislação federal, possuem legislações locais específicas e distintas. Geralmente, peculiaridades processuais, entraves normativos e até “excesso de burocracia” costumam dificultar a chancela ambiental dos empreendimentos de petróleo e gás natural *onshore*. Portanto, há a necessidade emergente de reformar este atual mecanismo de licenciamento ambiental, tornando-o mais objetivo, rápido e eficaz para a atividade petrolífera terrestre nacional. Fato que corrobora essa compreensão é o alto grau de risco também obtido pelo fator ‘(S₉) Regulamentos governamentais’, em razão de que outras mudanças na regulamentação do Setor também são fundamentais para o atendimento adequado às especificidades das operações *onshore*.

Pelo exposto, é possível determinar que o grau geral de risco da CSPG *onshore* do Brasil é prioritariamente ‘alto’ com IIR (A₃) igual à 0,4718034. A verificação analítica desse

grau geral de risco é mostrada na Tabela 23, onde são apresentados os *IIR* das alternativas [graus de risco] em relação aos critérios [tipos de risco] do objetivo geral [ARCS]. Observa-se que o grau ‘(A₁) Baixo risco’ obteve *IIR* igual a zero em relação a todos os critérios. O grau ‘(A₂) Médio risco’ obteve *IIR* maiores em relação aos critérios (C₇) e (C₁₀), enquanto o grau ‘(A₃) Alto risco’ obteve *IIR* maiores em relação aos critérios (C₁), (C₃), (C₄), (C₆) e (C₈). Há empate no valor do *IIR* das alternativas ‘(A₂) Médio risco’ e ‘(A₃) Alto risco’ em relação ao critério (C₂). Não há *IIR* significativo em relação aos critérios (C₅) e (C₉).

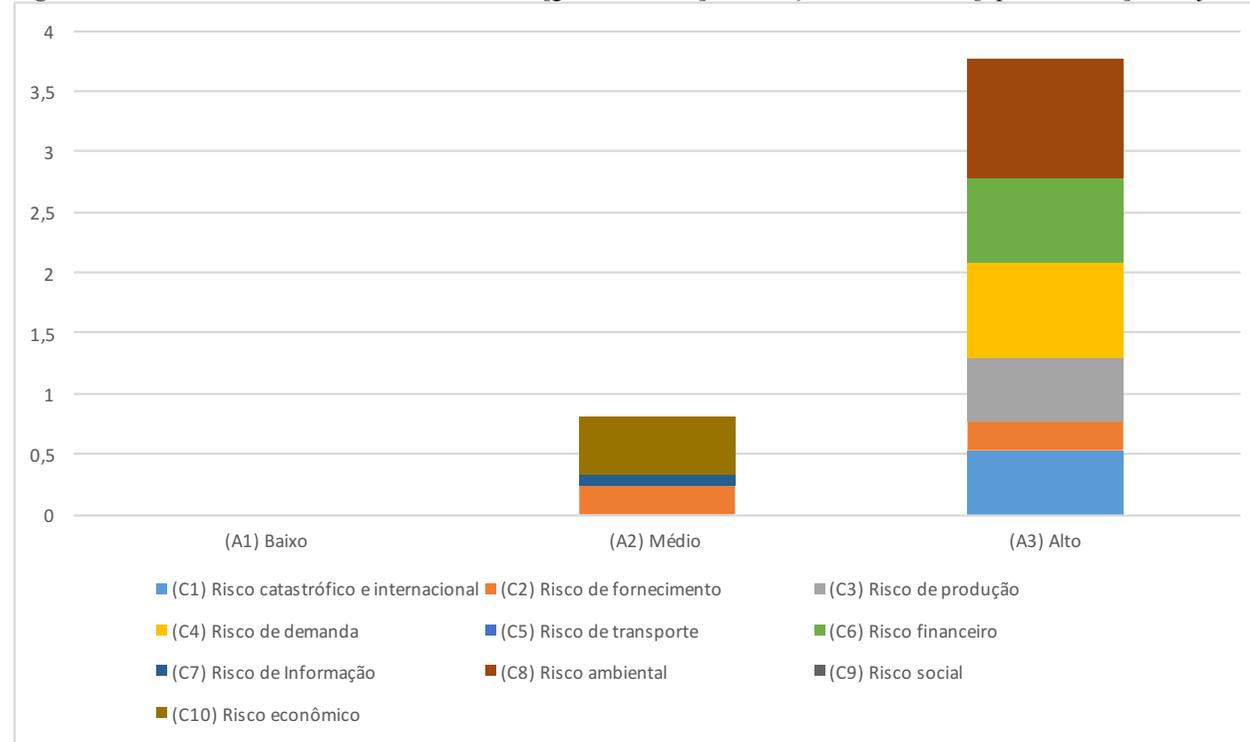
A Figura 34 mostra o gráfico de sensibilidade dos *IIR* das alternativas [graus de risco] em relação aos critérios [tipos de risco] do objetivo geral [ARCS]. A análise de sensibilidade busca considerar o que acontece com a classificação final de uma alternativa quando se escolhe critérios diferentes. Isto é útil em situações onde existem incertezas na definição da importância de diferentes critérios avaliados. A soma dos *IIR* obtidos pelo grau ‘(A₂) Médio risco’ em relação a todos os tipos de risco que compõem a ARCS é igual a 0,802335, enquanto que a soma dos *IIR* do grau ‘(A₃) Alto risco’ é igual a 3,770851. Portanto, a análise de sensibilidade mostra que a grande diferença na soma dos *IIR* das alternativas confirma que o grau ‘(A₃) Alto risco’ é o mais relevante para definir o *grau geral de risco* da CSPG *onshore* do Brasil.

Finalmente, de acordo com a estrutura holística proposta, descobre-se que a maior parte dos riscos avaliados como prioritários pelas empresas investigadas [Tabela 22], são riscos típicos da cadeia de suprimentos. Ou melhor, entre todos os riscos prioritários da CSPG pesquisada, apenas quatro fatores de risco são riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos, sendo eles ‘(S₃₀₉) Captação e gerenciamento financeiro sustentável’, ‘(S₃₁₀) Riscos de sustentabilidade econômica de governos’, ‘(S₃₀₂) Suborno ou corrupção’ e ‘(S₃₁₈) Dificuldade de licenciamento ambiental’. Por sua vez, três desses fatores de risco (S₃₀₂, S₃₀₉ e S₃₁₀) estão relacionados ao (C₁₀) *Risco econômico* e um fator de risco (S₃₁₈) ao (C₈) *Risco ambiental*. Esta descoberta se alinha com a literatura anterior do campo, pois demonstra o desafio das empresas em integrar as questões de sustentabilidade na GRCS. Ainda há pouca compreensão sobre como os aspectos sustentáveis se materializam em riscos, além de sua agregação e interdependência em relação aos riscos típicos da cadeia de suprimentos. Por isso, as abordagens teóricas e práticas hegemônicas de GRCS geralmente priorizam ‘riscos típicos’ em detrimento de ‘riscos de sustentabilidade’ (FOERSTL *et al.*, 2010; HOFMANN *et al.*, 2014; RAO; GOLDSBY, 2009; SEURING; MÜLLER, 2008).

Tabela 23 - Grau geral de risco da CSPG onshore do Brasil: alternativas [graus de risco] em relação aos critérios [tipos de risco] do objetivo geral [ARCS]

<i>IIR</i> dos critérios (C_x)	(C_1) Risco catastrófico e internacional	(C_2) Risco de fornecimento	(C_3) Risco de produção	(C_4) Risco de demanda	(C_5) Risco de transporte	(C_6) Risco financeiro	(C_7) Risco de Informação	(C_8) Risco ambiental	(C_9) Risco social	(C_{10}) Risco econômico	<i>Grau geral de risco da CSPG onshore do Brasil</i>
<i>IIR</i> das alternativas	0,5112302	0	0	0	0	0,0236697	0	0	0	0	
(A_1) Baixo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(A_2) Médio	0	0,2302519	0	0	0	0	0,10088392	0	0	0,4712	0,0659034
(A_3) Alto	0,5288	0,2343519	0,5423	0,7859	0	0,6795	0	1	0	0	0,4718034

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 34 - Sensibilidade do *IIR* das alternativas [graus de risco] em relação aos critérios [tipos de risco] do objetivo geral [ARCS]

Fonte: Autoria própria (2021).

A partir da discussão dos resultados supracitados é possível reconhecer algumas lacunas de pesquisa e estabelecer direções para estudos futuros:

- o fato da CSPG *onshore* investigada ter identificado um fator de risco relevante (S_{318}) ainda não discutido na literatura prévia do campo, permite inferir que determinados fatores de risco essenciais para a maioria das empresas podem não ser importantes para outras empresas. O resultado igual a zero da maior parte dos pesos finais dos riscos da cadeia de suprimentos avaliados pode ratificar esta dedução. Isto sugere a realização de mais análises empíricas para medir não apenas a ‘probabilidade de ocorrência’ e o ‘impacto/consequência’, mas também para aferir a detectabilidade do risco, o tempo de recuperação ao risco, a duração do risco, a inoperabilidade em caso de interrupções, a propagação do risco, a relação causal entre riscos, entre outros indicadores emergentes de riscos da cadeia de suprimentos. Inclui-se aí, inclusive, a possibilidade de se usar dados históricos primários e/ou secundários [de operações e mercado] a respeito dos riscos da cadeia de suprimentos.
- A alta prioridade final dos tipos de risco típico (C_1) *Risco catastrófico e internacional* e (C_6) *Risco financeiro* corrobora a importância e o impacto global da CSPG. Governos, bancos centrais, empresas transnacionais, entre outros agentes consideram os preços à vista e de futuros do petróleo bruto como variáveis-chave na geração de cenários macroeconômicos (SADIK; DATE; MITRA, 2020). A alta interconexão desta Indústria com cadeias de suprimentos de outros setores críticos da sociedade conduz a uma aversão quase que inevitável a importantes fatores de risco relacionados com (C_1) *Risco catastrófico e internacional* - (S_{10}), (C_2) *Risco de fornecimento* - (S_{26}), (C_4) *Risco de demanda* - (S_{134}), (C_5) *Risco de transporte* - (S_{155}) e (C_6) *Risco financeiro* - (S_{175}). Em acréscimo, ressalta-se que os empreendimentos de E&P de petróleo e gás natural também podem ser tornar perigosos à vida, à propriedade e ao meio ambiente. Estes riscos e vulnerabilidades tem o potencial de se transformar em desastres naturais de longa escala. Inclusive, recentemente, descobriu-se que a produção de petróleo e gás natural contribui de 25% a 40% mais do que se avaliava para o aquecimento global (HMIEL *et al.*, 2020). Diante disso, estudos futuros sobre o Setor devem focar no *design* robusto e resiliente da cadeia de suprimentos de modo a se evitar interrupções geradas pela propagação de riscos catastróficos, internacionais e financeiros, garantindo a continuidade das operações em multiperíodos, multi-

escalões e multiobjetivos (GHADGE; DANI; KALAWSKY, 2012; RAJAGOPAL; SHANMUGAM; GOH, 2017).

- Em contraste, os tipos de risco típico (C_3) *Risco de produção* e (C_7) *Risco de informação* apresentam fatores com graus de risco menos importantes: ‘(A_2) Médio risco’ - (S_{71} , S_{198} , S_{204} e S_{206}); e ‘ A_3 Alto risco’ - (S_{76}). Este resultado é surpreendente, pois acredita-se que o desempenho efetivo das operações de E&P, bem como o adequado compartilhamento de informações transacionais e gerenciais são fundamentais para a competitividade do Setor. Deste modo, estudos futuros poderão focar, por exemplo: a tendência dos *smart fields* [campos inteligentes que usam tecnologias inovadoras para a transferência de dados em tempo real, promovendo melhorias no planejamento e controle da produção]; as ferramentas de *Big Data* [para processar grandes conjuntos de dados da cadeia de suprimentos em busca de melhores decisões de risco] (KACHE; SEURING, 2017; MISHRA *et al.*, 2018; SADIK; DATE; MITRA, 2020); e a digitalização e a Indústria 4.0 [incluindo a manufatura inteligente, a visibilidade e rastreabilidade da cadeia de suprimentos com o uso de tecnologias digitais, como RFID, Internet das coisas, *blockchain*, entre outras] (ZHONG *et al.*, 2017); etc.
- Em geral, os riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos apresentam prioridade final muito menos expressiva e em menor quantidade do que os riscos típicos. Como visto, o tipo de risco (C_8) *Risco ambiental* tem apenas um único fator (S_{318}) priorizado com alto grau de risco. Já o (C_9) *Risco social* não obteve nenhum fator de risco com prioridade final significativa. Por sua vez, o (C_{10}) *Risco econômico* apresentou três fatores de risco com prioridade final relevante (S_{302} , S_{309} e S_{310}). Assim, constata-se a partir da perspectiva do *triple bottom line* que o fundamento da sustentabilidade econômica se sobressaiu em relação aos demais pilares sustentáveis, destacando os riscos e incertezas de caráter econômico e financeiro da CSPG estudada. Uma possível justificativa para isto está no ambiente político-econômico brasileiro, historicamente marcado por graves problemas relacionados com ‘(S_{302}) Suborno ou corrupção’, ‘(S_{309}) Captação e gerenciamento financeiro sustentável’ e ‘(S_{310}) Riscos de sustentabilidade econômica de governos’. Apesar da equivalência estrutural proposta nesta pesquisa para identificar e avaliar os riscos da cadeia de suprimentos de forma integrada, mais estudos futuros são necessários no sentido de se compreender melhor os motivos subjacentes pelos quais

os riscos típicos são avaliados como mais importantes do que os riscos relacionados à sustentabilidade. Além disso, os riscos de sustentabilidade da cadeia de suprimentos têm se tornado um tópico de pesquisa emergente (BRANDENBURG *et al.*, 2014; ESKANDARPOUR *et al.*, 2015; SEURING, 2013). Portanto, temas que envolvam a sustentabilidade ambiental [consumo ineficiente de energia, acidentes ambientais, riscos climáticos e efeito estufa, poluição, escassez de água, regulamentação e licenciamento ambiental, desperdício excessivo, ameaças à biodiversidade, gestão de resíduos, risco de reciclagem e logística reversa, energias renováveis, etc.], a sustentabilidade social [trabalho infantil e forçado, discriminação, rede de ajuda humanitária, risco de reputação, risco de saúde pública, entre outros] e a sustentabilidade econômica [reivindicações antitruste e cartel, suborno ou corrupção, evasão fiscal, boicotes, etc.] possuem grande potencial para pesquisas futuras.

- Todas as características e avaliações discutidas sobre o atual *Ecosistema da CSPG onshore* do Brasil convergem para defini-lo, prioritariamente, com o **grau geral de risco alto**. Os resultados da *identificação e avaliação de riscos* gerados a partir da quantificação analítica da percepção dos decisores [ação preditiva] podem contribuir significativamente para uma melhor reflexão das empresas [ação proativa] sobre quais estratégias de *mitigação e controle de riscos* podem ser implementadas e quão eficientes poderão ser no desempenho e na competitividade de toda a cadeia de suprimentos. Dessa forma, tem-se o fechamento do círculo virtuoso do processo clássico de GRCS, que envolve a *identificação, avaliação, mitigação e o controle* dos riscos prioritários. De modo suplementar, ainda é possível aperfeiçoar esse processo incorporando as etapas de *comunicação e recuperação* de riscos no intuito de tornar a CSPG *onshore* nacional mais robusta e resiliente para lidar com distúrbios, interrupções e reações críticas dos *stakeholders*. Durante as sessões de *brainstorming/brainwriting* e *entrevistas*, oito das dez empresas pesquisadas informaram possuir “políticas, estratégias e/ou ações institucionalizadas para GRCS”. Portanto, os resultados da presente pesquisa podem contribuir expressivamente para a implementação ou melhoria do SGRCS das empresas investigadas.
- O sistema computacional FEHP desenvolvido para dar suporte automatizado ao *framework* holístico assegura a robustez numérica deste estudo, bem como promove a redução do esforço e do tempo necessário para a ARCS. Esse sistema fomenta uma modelagem íntegra do problema de decisão/avaliação, executando a ‘Análise de

Extensão Fuzzy' sem falhas e/ou erros. Os bons resultados desta ferramenta computacional possibilitam supor que o seu uso também pode estimular a racionalização da ARCS, tornando-a mais sistemática, objetiva, eficaz e menos dispendioso. Contudo, há espaço para mais pesquisa com o intuito de aprimorar e expandir a estrutura holística baseada na abordagem computacional FEAHP: a. uma investigação adicional pode ser feita para analisar a eficiência econômica da abordagem FEAHP e para compará-la ou integrá-la com outros métodos de ARCS baseados em modelos MCDM/A, PM e IA; b. mais estudos empírico-analíticos de ARCS são necessários para se produzir resultados generalizáveis, contribuindo para o desenvolvimento robusto de modelos normativos e prescritivos; c. a ARCS deriva de diferentes comportamentos e atitudes de risco (RAJAGOPAL; SHANMUGAM; GOH, 2017; VANANY; ZAILANI; PUJAWAN, 2009). Por isso, pesquisas sobre a tomada de decisão considerando o apetite ao risco, a aversão ao risco ou a neutralidade ao risco precisam de mais atenção; d. a modelagem gráfica de uma cadeia de suprimentos inteira, considerando as interdependências e o efeito cascata é um tópico promissor de pesquisa futura. Para tanto, algumas técnicas podem ser usadas como redes de Markov, redes de Petri e redes Bayesianas; e, e. o ciclo simulação-otimização também pode ser explorado na ARCS, especialmente para reproduzir a dinâmica e os impactos de risco. Neste sentido, podem ser usados, por exemplo, métodos de otimização como *genetic algorithms*, *machine learning*, *deep learning*, *particle swarm optimization*, *ant colony*, *normal boundary intersection*, etc. (NAGURNEY *et al.*, 2005; SCHMITT; SINGH, 2012).

Finalmente, destaca-se que as lacunas e direções de pesquisa identificadas são tópicos individuais dentro do campo da GRCS e, mais especificamente, da ARCS, que podem fornecer aos pesquisadores e profissionais hipóteses para trabalhos futuros. Portanto, espera-se que esta pesquisa contribua com *insights* sólidos e claramente identificados em prol do desenvolvimento e da melhoria contínua das cadeias de suprimentos.

3.3.1.6 Conclusões, recomendações e limitações

As cadeias de suprimentos globais são os pilares da globalização econômica. À medida em que a complexidade das cadeias de suprimentos aumenta, crescem também as incertezas,

vulnerabilidades e os riscos de interrupções, distúrbios e reações críticas da sociedade. A recente turbulência social, política e econômica causada pela pandemia de Covid-19 expôs muitas das deficiências de produção e consumo do sistema econômico mundial. Esta crise pandêmica sem precedentes históricos chocou as cadeias de suprimentos que enfrentaram ondulações severas de oferta e demanda de produtos e serviços, além de efeitos de caos e ressonância propagados em larga escala, evidenciando a fragilidade e a falta de agilidade das redes de operações globais.

A pandemia mundial oferece lições profundas relacionadas à Gestão da Cadeia de Suprimentos. Talvez, o principal ensinamento seja um “novo mundo” pós-pandemia mais sintonizado com o risco, onde há mais oportunidades de atrair a atenção de governos, mercados e sociedades sobre a importância da *identificação, avaliação, mitigação, controle, comunicação e recuperação de riscos* das cadeias de suprimentos, buscando torná-las mais *robustas e resilientes*.

Os riscos da cadeia de suprimentos têm sido largamente estudados nos últimos anos. De forma geral, esses riscos são agrupados em ‘riscos típicos’ e ‘riscos relacionados à sustentabilidade’. Ambas categorias de risco podem causar danos à cadeia de suprimentos e, portanto, devem ser tratadas integralmente na GRCS. Contudo, a profunda revisão de literatura desta pesquisa mostra que a integração da sustentabilidade à literatura tradicional de riscos típicos da cadeia de suprimentos é frágil, vaga e incipiente. Diante disso, neste estudo é proposta uma estrutura holística baseada na abordagem computacional do método FEAHP para avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos. Para tanto, busca-se: i. identificar e avaliar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos; ii. priorizar os riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos usando um *IIR*; e, iii. definir o grau geral de risco da cadeia de suprimentos.

O método FEAHP resulta da combinação dos métodos AHP e Fuzzy. Esta técnica híbrida MCDM/A-IA tem grande utilidade para lidar com a natureza ambígua e incerta dos riscos, além de ser adequada para implementar abordagens analíticas que usam a percepção [ou avaliação] de decisores. Como há pouca literatura sobre o desenvolvimento de ferramentas computacionais baseadas em métodos analíticos para a ARCS, é desenvolvido um sistema computacional capaz de automatizar todo o cálculo do método FEAHP. Esta ferramenta contribui para assegurar a integridade numérica da estrutura de ARCS, bem como para reduzir o esforço e o tempo do processo de avaliação de riscos. A aplicabilidade do *framework* holístico

desenvolvido é demonstrada no estudo de casos múltiplos de dez empresas de E&P de petróleo e gás natural *onshore* do Brasil.

Inicialmente, uma ampla classificação holística de riscos típicos e riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos, extraída da revisão de literatura, foi apresentada às empresas estudadas. A participação dessas empresas se deu através de suas respectivas equipes de decisores em sessões de *brainstorming/brainwriting*, *entrevistas* e *questionários*. Tomando a literatura como ponto de partida, as equipes de decisores identificaram os principais ‘tipos de risco’ [critérios] e ‘fatores de risco’ [subcritérios] relevantes para a cadeia de suprimentos. Depois disso, é utilizada a abordagem AHP para estruturação hierárquica do problema de ARCS. Após a construção da hierarquia do problema, as equipes de decisores avaliaram comparativamente a ‘probabilidade de ocorrência’ e o ‘impacto/consequência’ dos principais critérios [10 tipos de risco], subcritérios [46 fatores de risco] e alternativas [3 graus de risco]. Os resultados dos quesitos avaliados pelos decisores permitem a construção das matrizes de comparação pareada. A fuzzificação das matrizes de comparação pareada propiciam a aplicação do método de ‘Análise de Extensão Fuzzy’ [FEAHP]. O sistema computacional desenvolvido para automatizar o FEAHP está estruturado em três módulos dinâmicos, interativos e interdependentes, e fornece como saída principal o resultado geral da ARCS.

A identificação e avaliação dos riscos da cadeia de suprimentos das empresas estudadas possibilitam priorizar os riscos mais importantes através de um *IIR*. O *IIR* produz uma classificação de prioridade final homogênea e integrativa, englobando tanto a avaliação da ‘probabilidade de ocorrência’ quanto a estimativa do ‘impacto/consequência’ dos riscos. A classificação de prioridade final dos ‘tipos de risco’, em ordem decrescente de importância, é: $C_1 > C_6$; quanto aos ‘fatores de risco’ é: $S_{134} = S_{155} > S_{175} > S_{10} > S_{26}$; em relação aos graus de risco, constata-se que os fatores de risco $S_{28} = S_{176} > S_{309} > S_{71} = S_{310} > S_{302} > S_{198} > S_{204} > S_{206}$ estão avaliados como sendo de ‘(A₂) Médio risco’, e os fatores $S_{12} = S_{155} = S_{175} = S_{318} > S_{134} > S_9 = S_{10} = S_{76} > S_5 = S_{23} = S_{26}$ como ‘(A₃) Alto risco’.

O *grau geral de risco* da CSPG *onshore* do Brasil está determinado como ‘(A₃) Alto risco’ com *IIR* igual à 0,4718034. A verificação analítica do *grau geral de risco* e a análise de sensibilidade dos *IIR* das alternativas [graus de risco] em relação aos critérios [tipos de risco] do objetivo geral [ARCS] confirmam que o grau ‘(A₃) Alto risco’ é o mais apropriado para definir o *grau geral de risco* da CSPG *onshore* nacional. Além disso, todas as características e especificidades discutidas sobre a CSPG investigada confluem para delimitá-la, prioritariamente, com o **grau geral de risco alto**.

Apesar da avaliação geral de *risco alto* da CSPG estudada, o setor apresenta muitas potencialidades e desafios, tal como visto no decorrer desta pesquisa. Talvez, a máxima de que “quanto maior o risco, maior o retorno” seja muito pertinente para avaliar os investimentos no mercado brasileiro de petróleo e gás natural *onshore*. Isto porque, embora a crise da Covid-19 tenha causado um declínio histórico na demanda global de petróleo em 2020 e, em alguns aspectos, acelerado o processo de transição energética mundial para matrizes de baixa emissão de carbono, além do avanço dos planos futuros de uma econômica global baseada na digitalização tecnológica, a demanda mundial por petróleo e gás natural deverá aumentar nos próximos anos.

A crescente demanda mundial por plásticos e produtos petroquímicos pode equalizar as possíveis perdas na demanda de gasolina que, por sua vez, pode nunca mais retornar aos níveis pré-pandêmicos. Já o gás natural, por ser o combustível fóssil de queima mais limpa, tem apresentado uma demanda com tendência de rápido crescimento em um mercado cada vez mais globalizado. Assim, à medida que o comércio de gás natural aumenta, também aumenta a interconectividade de seus mercados, criando novas facetas e dimensões de risco. Quanto às tendências regionais de consumo de petróleo e gás natural, a Ásia continua a dominar o crescimento da demanda; em contraste, a demanda em muitas economias avançadas não deve retornar aos níveis anteriores à crise. Para atender ao crescimento esperado na demanda de petróleo e gás natural nos próximos anos, os produtores do Oriente Médio liderarão o aumento da oferta global, em grande parte devido à capacidade existente (IEA, 2021a).

As vastas reservas brasileiras de petróleo e gás natural *onshore* com significativas margens de E&P podem contribuir fortemente no atendimento desta demanda global nos próximos anos, pelo menos até que o mundo possa assegurar uma oferta total de energia hegemonicamente composta por fontes renováveis. Portanto, os baixos investimentos na Indústria de petróleo e gás observados nos últimos anos devem ser revertidos em razão das possibilidades de bons retornos a curto e médio prazos. Para tanto, muitos dos riscos identificados e avaliados nesta pesquisa devem ser priorizados e gerenciados de modo a minimizar a probabilidade de ocorrência e o impacto/consequência. Já no longo prazo, estratégias de resiliência, readaptação e expansão do Setor devem ser sistematicamente concebidas e implementadas, com importantes melhorias nos aspectos de comercialização e distribuição, licenciamento ambiental, regulamentação governamental, meio ambiente e sustentabilidade, etc.

Os resultados desta pesquisa produzem contribuições teóricas e prático-gerenciais, entre as quais, destacam-se:

- a descoberta de que determinados fatores de risco essenciais para a maioria das empresas podem não ser importantes para outras;
- a alta prioridade final dos tipos de risco típico (C_1) *Risco catastrófico e internacional* e (C_6) *Risco financeiro* ratifica a importância e o impacto global da CSPG;
- os tipos de risco típico (C_3) *Risco de produção* e (C_7) *Risco de informação* apresentam fatores de risco com graus de risco relativamente menos importantes;
- os riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos apresentam prioridade final menos expressiva e em menor quantidade do que os riscos típicos, onde, entre os riscos sustentáveis, destaca-se o risco econômico;
- os resultados da *identificação e avaliação de riscos* [ação preditiva] podem contribuir para uma melhor reflexão das empresas [ação proativa] a respeito das estratégias de *mitigação e controle de riscos*, o que pode promover a implementação ou o aperfeiçoamento do SGRCS das empresas estudadas; e,
- o sistema computacional FEAHP desenvolvido promove a modelagem íntegra do problema de decisão/avaliação, executando a ‘Análise de Extensão Fuzzy’ de forma flexível, sem falhas e/ou erros, o que estimula a melhoria da ARCS.

Além disso, as lacunas de conhecimento e direções de pesquisas futuras elencadas neste estudo podem servir de base para que mais pesquisadores e gestores desenvolvam novas investigações no campo.

Este estudo possui algumas limitações metodológicas. Como a análise empírica se baseia no *estudo de casos múltiplos* da CSPG *onshore* brasileira, há restrições na generalização dos resultados, ou seja, as conclusões da pesquisa não podem ser estendidas a outros setores, mercados e empresas. Ademais, a metodologia de avaliação de riscos é baseada, principalmente, no conhecimento e na experiência dos decisores das empresas; portanto, podem haver ruído e distorção na percepção dos respondentes sobre a precisão das informações fornecidas. Por fim, os benefícios da abordagem computacional FEAHP podem ser limitados pela qualidade dos dados dos decisores que, por sua vez, também é suscetível a influências da cultura, estratégia, estrutura e desempenho da cadeia de suprimentos.

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2021b) enfatiza que, para que as metas climáticas sejam cumpridas até 2050, as empresas do Setor “precisam interromper novos projetos de petróleo e gás natural para manter as mudanças climáticas sob controle”. Em suma, toda nova exploração de poços de combustíveis fósseis teria de ser interrompida. Isso denota o quão desafiador é o futuro do mercado global de petróleo e gás natural. Apesar das limitações discutidas, acredita-se que este estudo contribua significativamente para gestão de riscos e vulnerabilidades reais das cadeias de suprimentos globais, o que poderá promover uma melhor reflexão de pesquisadores e profissionais sobre os princípios e ontologias da GRCS.

4 CONCLUSÕES

A importância crescente das cadeias de suprimentos globais as torna cruciais no desenvolvimento de países e nações. À medida em que a complexidade da economia mundial se expande, as cadeias de suprimentos se consolidam como um importante sistema sociotécnico formado por um conjunto de atividades de gestão, produção, armazenamento e transporte de produtos e serviços por meio de amplas redes de operações. Em contraste, as diversas fragilidades e distorções do sistema econômico global podem ser evidenciadas nas cadeias de suprimentos, que cada vez mais são afetadas por riscos, incertezas e vulnerabilidades com potencial para provocar atrasos, distúrbios e rupturas no fluxo de bens, capitais e informações, além de reações críticas da sociedade.

Este contexto tem motivado pesquisadores e profissionais a se interessarem pela GRCS, em razão da importância desta área, demandando o desenvolvimento de modelos, métodos, técnicas e ferramentas de tomada de decisão e sistemas de suporte; elementos necessários e promissores para a gestão de riscos. Deste modo, nesta pesquisa se objetiva **analisar as oportunidades e limitações de uma modelagem baseada em MCDM/A-IA para a GRCS, desenvolvida através de seleção sistemática, validação e teste de sistema do método híbrido Fuzzy AHP aplicado na indústria de petróleo e gás natural**. Especificamente, busca-se: *a. realizar o estado da arte pela revisão sistemática da rede de literatura sobre a MGRCS; b. propor e validar um novo sistema computacional para seleção de fornecedor considerando riscos baseado no método Fuzzy AHP; e, c. propor e testar sistemicamente uma estrutura holística para avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos com suporte computacional do método Fuzzy AHP*. Para tanto, é realizada uma pesquisa aplicada, com propósitos exploratório, descritivo e preditivo, de abordagem combinada [qualitativa e quantitativa], utilizando-se os procedimentos de pesquisa bibliográfica, desenvolvimento teórico-conceitual, modelagem e estudo de casos.

O estado da arte da rede de literatura sobre a MGRCS mostra que este campo tem se consolidado nas últimas décadas e é provável que esta tendência se estenda nos próximos anos. A partir do uso de métodos e ferramentas bibliométricas inovadoras, é estabelecida uma compreensão sistêmica do fluxo de pesquisa na área ao longo do tempo, fornecendo direções de investigação futura. A análise e interpretação das lacunas e tendências de pesquisa da MGRCS permitem a identificação, seleção e implementação sistemática da modelagem

desenvolvida neste estudo. Para isso, se considera, principalmente, dois elementos destacados na literatura: a ‘abordagem holística da GRCS’ e o ‘desenvolvimento de modelos de risco normativos e prescritivos’. O primeiro elemento é um promotor de mais estudos sobre fatores-chave como ‘integração de processos, *design*, gerenciamento da informação, visibilidade e coordenação de risco’. Esses fatores devem ‘impactar diretamente as necessidades reais da indústria, os tomadores de decisão e a sustentabilidade’. O segundo, deve considerar ‘tanto as estratégias quanto o desempenho real da cadeia de suprimentos’.

Desta forma, a pesquisa bibliográfica realizada traz o embasamento necessário para o desenvolvimento teórico-conceitual desta tese. O desenvolvimento teórico-conceitual, por sua vez, permite o alcance das finalidades exploratória, descritiva e preditiva deste estudo, viabilizadas pela triangulação de métodos e técnicas de coleta de dados. Através da pesquisa exploratória há a assimilação dos resultados da pesquisa bibliográfica ao que se refere a ‘abordagem holística da GRCS’, a ‘classificação e os modelos de riscos de seleção de fornecedor’, além da ‘classificação e os modelos de riscos típicos e relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos’.

Já na pesquisa descritiva, a análise empírica dos estudos de caso é feita respeitando-se as lacunas e tendências da pesquisa bibliográfica sobre a ‘modelagem de risco da cadeia de suprimentos à montante [risco de fornecedor/fornecimento]’, a ‘modelagem de incertezas da cadeia de suprimentos’, a ‘modelagem de risco de previsão de oferta e demanda’, a ‘modelagem de risco de sustentabilidade, alimentos e energia’, etc. E, na pesquisa preditiva, a modelagem conceitual, matemática e computacional se baseia no estudo literário que destaca a necessidade teórica e prática de se ‘desenvolver modelos de risco normativos e prescritivos’, ponderando-se as tipologias evoluídas de métodos baseados em ‘decisão multicritério, modelagem não linear e estocástica’, ‘decisão multicritério e modelagem Fuzzy’, etc.

A proposição e validação de um novo sistema computacional para seleção de fornecedor considerando riscos baseado no método Fuzzy AHP constitui uma ‘prova de conceito’ para verificar a viabilidade de implementação da MGRCS desenvolvida. O problema de riscos de seleção de fornecedor é um tópico crítico e desafiador na pesquisa da GRCS. Para identificar, selecionar e implementar o método Fuzzy AHP é considerada a viabilidade de vários modelos exequíveis. A principal motivação para adotar o referido método refere-se a natureza do problema de riscos de seleção de fornecedor e, essencialmente, ao caráter complexo da GRCS. Pois, problemas relacionados à identificação, seleção, avaliação, priorização e classificação de riscos da cadeia de suprimentos podem envolver um processo de tomada decisão com múltiplos

objetivos. Os modelos de decisão com múltiplos objetivos são desenvolvidos com base em algum método de apoio a decisão multicritério, ou seja, métodos MCDM/A.

Entre os métodos MCDM/A, o AHP é o mais usado e associado a outros métodos, técnicas e abordagens. A associação do AHP com a modelagem Fuzzy, uma das técnicas de IA com importantes aplicações práticas, resulta em uma abordagem híbrida MCDM/A-IA com grande utilidade para lidar com a natureza ambígua, instável, subjetiva e incerta da quantificação de riscos. Em contrapartida, é observada uma escassez de literatura sobre o uso do método Fuzzy AHP para identificar, selecionar e avaliar riscos em ambientes de manufatura, bem como a respeito do desenvolvimento de ferramentas computacionais para apoio ao processo de GRCS. Diante destas lacunas e oportunidades de pesquisa, é implementada uma abordagem computacional do método Fuzzy AHP [com o algoritmo FEAHP] para a seleção de fornecedor considerando-se riscos de uma empresa brasileira de petróleo e gás natural *onshore*. Neste estudo de caso, a modelagem normativa e prescritiva proporcionada pelo método Fuzzy AHP [FEAHP] é submetida a uma validação empírica para verificar se o sistema computacional proposto atende aos requisitos necessários.

Constata-se que a abordagem computacional FEAHP é capaz de automatizar a seleção de fornecedor ao determinar uma hierarquia de critérios [tipos de risco], subcritérios [fatores de risco] e alternativas [fornecedores]. Primeiramente, os critérios e subcritérios específicos para o problema de seleção são identificados pelos decisores da empresa focal, usando como referência a literatura pertinente. Posteriormente, os decisores realizam uma comparação entre pares dos requisitos predefinidos usando uma escala linguística. Esta avaliação é então quantificada pelo cálculo dos pesos de prioridade dos critérios, subcritérios e alternativas. A melhor alternativa de decisão é aquela com a maior pontuação final. Uma análise de sensibilidade é realizada para se verificar os resultados do modelo.

Descobre-se que o critério (C_2) *desempenho* do fornecedor é o mais importante. Essa descoberta está conectada com a literatura especializada, que também reconhece o *desempenho* como um indicador-chave de risco na seleção de fornecedor da maior parte das empresas. Os subcritérios '(S_5) baixa confiabilidade do fornecedor', '(S_6) alto preço do fornecedor' e '(S_9) fornecimento único' apresentam os pesos de prioridade mais altos. O subcritério '(S_9) fornecimento único' apresenta importância singular para a empresa estudada, distinguindo-se dos demais subcritérios típicos da maioria das empresas. O fornecedor A_1 é considerado como o melhor para a empresa focal, seguido pelo fornecedor alternativo A_2 . A análise de sensibilidade mostra que o fornecedor A_1 possui o maior peso prioritário em relação

aos critérios (C_2) *desempenho* e (C_3) *preço*, o que o confirma como a melhor alternativa para a empresa estudada.

A abordagem computacional do método FEHP promove a automação do processo de seleção de fornecedor de modo racional, flexível e ágil, conforme externalizado pela empresa estudada. Mediante estes resultados, a ferramenta computacional proposta está validada por atender a todos os requisitos informativos, funcionais, comportamentais e de desempenho desejáveis. Deste modo, hipotetiza-se que o uso desse sistema pode fornecer *insights* úteis na escolha dos melhores fornecedores em um ambiente de risco e incerteza, maximizando o desempenho da cadeia de suprimentos.

Após a validação da modelagem para seleção de fornecedor considerando-se os riscos, é realizada a *proposição e teste de sistema de uma estrutura holística para avaliação de riscos típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos com suporte computacional do método Fuzzy AHP*. Neste íterim, as seguintes lacunas e oportunidades de pesquisa são ponderadas: i. o desempenho geral do processo de GRCS depende essencialmente das etapas de *identificação e avaliação de riscos*; ii. a discussão sobre a natureza dos riscos da cadeia de suprimentos tem destacado duas categorias principais de riscos, ou seja, ‘riscos típicos’ e ‘riscos relacionados à sustentabilidade’. Ambas as categorias de riscos causam prejuízos à cadeia de suprimentos e, por isso, devem ser gerenciadas integralmente. Mas, a abordagem das questões de sustentabilidade na literatura que trata dos riscos típicos ainda é muito incipiente, pois há pouca compreensão sobre como os aspectos sustentáveis se tornam riscos, além de sua agregação e interdependência em relação aos riscos típicos; e, iii. a quantificação analítica da percepção dos decisores acerca dos riscos [ação preditiva] concorre para uma melhor reflexão das empresas [ação proativa] sobre quais estratégias de *mitigação e controle de riscos* podem ser implementadas e quão eficientes serão no desempenho da cadeia de suprimentos.

Em razão destas fronteiras de conhecimento, é implementado um *framework* holístico baseado na abordagem computacional do método Fuzzy AHP [FEAHP], para avaliação de riscos típicos e riscos sustentáveis [riscos multidimensionais] da CSPG *onshore* brasileira. Por meio do estudo de casos múltiplos de dez empresas de E&P de petróleo e gás natural *onshore* é possível realizar o *teste de sistema* da MGRCS para avaliar o desempenho global da ferramenta computacional desenvolvida. Inicialmente, tomando a literatura do campo como ponto de partida, os decisores das empresas estudadas identificam os principais riscos relevantes para a cadeia de suprimentos. Em seguida, através de variáveis linguísticas, os decisores avaliam, comparativamente, a ‘probabilidade de ocorrência’ e o

‘impacto/consequência’ dos principais tipos de risco [critérios], fatores de risco [subcritérios] e graus de risco [alternativas]. Pela aplicação do sistema FEAHP, são obtidos os resultados da ARCS. Esses resultados permitem priorizar os riscos mais importantes através de um *IIR*. Em complemento, também é possível determinar o *grau geral de risco* da cadeia de suprimentos estudada. Para confirmar os resultados alcançados, são realizadas a verificação analítica e a análise de sensibilidade do *grau geral de risco* das empresas investigadas.

Entre as principais contribuições desta última fase da pesquisa, destacam-se: i. a descoberta de que determinados fatores de risco essenciais para a maioria das empresas podem não ser importantes para outras; ii. a alta prioridade final dos tipos de risco típico (C_1) *Risco catastrófico e internacional* e (C_6) *Risco financeiro* ratifica a importância e o impacto global da CSPG; iii. os tipos de risco típico (C_3) *Risco de produção* e (C_7) *Risco de informação* apresentam fatores de risco com graus de risco menos importantes; iv. os riscos relacionados à sustentabilidade apresentam prioridade final menos importante do que os riscos típicos, com destaque para os riscos de sustentabilidade econômica; v. os resultados da identificação e avaliação de riscos podem colaborar com a criação de estratégias de *mitigação e controle de riscos* [ação preditiva *versus* ação proativa], fomentando a implementação ou o aperfeiçoamento do SGRCS das empresas estudadas; e, vi. o sistema computacional FEAHP promove de forma íntegra, flexível, sem falhas e/ou erros a melhoria do processo de ARCS. Portanto, o teste de sistema da MGRCS comprova que todos os elementos do *software* proposto [linguagem de programação, lógica de cálculo numérico, arquitetura modular do sistema, usabilidade, etc.] se combinam corretamente e apresentam uma função ou um desempenho global eficiente e eficaz.

Pelo exposto, conclui-se que as diversas oportunidades e/ou potencialidades de uso de uma modelagem baseada em MCDM/A-IA para a GRCS superam as principais limitações e/ou desafios. Os resultados alcançados pela abordagem computacional Fuzzy AHP [FEAHP], desenvolvida a partir de uma sistemática pesquisa teórica e validada e testada por criteriosas pesquisas empíricas, concretizam a relevância epistemológica, metodológica, tecnológica e prático-gerencial da MGRCS proposta. Consequentemente, é possível constatar vários benefícios de caráter socioambiental, econômico e acadêmico-científico:

- pela perspectiva socioambiental, destaca-se o fomento à gestão de riscos das empresas, o que contribui para que elas sejam economicamente saudáveis e socioambientalmente responsáveis; atendendo, assim, às atuais necessidades e objetivos globais de sustentabilidade;

- pela ótica econômica, salienta-se o estímulo à melhoria da performance gerencial, econômico-financeira e técnica das cadeias de suprimentos, impactando o desempenho individual e coletivo dos tomadores de decisão [técnicos, analistas, gestores e executivos de diversas áreas estratégicas das organizações]; e,
- pelo aspecto acadêmico-científico, ressalta-se a contribuição cumulativa aos conhecimentos do campo estudado, o ineditismo da abordagem desenvolvida e a superação de importantes lacunas de pesquisa, contribuindo para o trabalho de pesquisadores e acadêmicos que atuam na área da GRCS, MGRCS e ARCS.

Em suma, o estudo apresentado se diferencia dos citados na literatura, pois se utiliza de um modelo [produto] inovador, fundamentado em uma sistemática abordagem conceitual, matemática e computacional, o que estimula a automação da tomada de decisão complexa, expande a compreensão holística e sustentável da Gestão da Cadeia de Suprimentos, e subsidia, objetivamente, as etapas de *identificação* e *avaliação de riscos* do processo de GRCS. Além disso, esta pesquisa é uma iniciativa pioneira na construção de um sistema FEAHP (CHANG, 1996), em linguagem MATLAB®, através de uma completa aplicação numérica, tecnológica e empírica da ‘Análise de Extensão Fuzzy’, concorrendo para o avanço de algoritmos computadorizados de automação do cálculo de pesos de critérios (GULER, 2022).

Por sua vez, a transferência de uso desta tecnologia para o setor produtivo, pode ser feita, por exemplo, através das seguintes ações (DEBACKERE; VEUGELERS, 2005): criar uma empresa de base tecnológica [*startup*], utilizando o conhecimento científico gerado para viabilizar a gestão e comercialização da solução tecnológica; desenvolver pesquisa colaborativa, com projetos definidos e conduzidos, conjuntamente, por empresas e instituições científicas interessadas na tecnologia; desenvolver pesquisas e consultorias especializadas junto à indústria; realizar o aproveitamento de direitos de propriedade intelectual da tecnologia (como o registro do *software* HAZE feito no INPI), promovendo o licenciamento e a venda de direitos à indústria; efetuar transferência por recursos humanos através da cooperação em programas de graduação e pós-graduação, treinamento avançado para os profissionais da indústria e intercâmbio sistemático de pesquisadores da indústria e de instituições científicas e tecnológicas; etc.

4.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Em relação às principais limitações e/ou desafios do presente estudo, destacam-se:

- o estado da arte pela revisão sistemática da literatura do campo que subsidia o delineamento da MGRCS baseia-se, principalmente, em métodos e ferramentas bibliométricas que possuem limitações, tais como um conjunto restrito de palavras-chave, a metodologia centrada no princípio de citações de bancos de dados, etc.;
- as análises empíricas realizadas focalizam o estudo de casos de empresas da CSPG *onshore* brasileira, por isso, há restrições na generalização dos resultados e conclusões;
- a metodologia adotada para a avaliação dos riscos fundamenta-se, essencialmente, no conhecimento e na experiência dos decisores das empresas, portanto, podem haver ruído e distorção na percepção dos respondentes em relação às informações prestadas. Além disso, modelos de decisão relacionados à avaliação de risco podem ser de difícil representação ou percepção pelos decisores; e,
- a acurácia dos resultados da abordagem computacional Fuzzy AHP [FEAHP] pode ser limitada pela qualidade dos dados advindos dos decisores, padrão da cultura e estratégia organizacional, desempenho da cadeia de suprimentos, etc.

Ademais, recomenda-se as seguintes possibilidades de trabalhos futuros:

- novas pesquisas sobre o estado da arte do campo a partir de revisões sistemáticas de literatura à medida que as abordagens e ferramentas bibliométricas são aprimoradas;
- especificamente em relação à CSPG *onshore*, novas investigações podem focar o *design* robusto e resiliente da cadeia de suprimentos, discutindo-se a continuidade das atividades de produção e operação em multiperíodos, multi-escalões e multiobjetivos. Além disso, algumas tendências tecnológicas e de negócios do Setor podem ser tratadas sob a ótica da modelagem de riscos [por exemplo, *smart fields*, Big Data, Indústria 4.0, transição energética e energias renováveis, etc.];
- mais estudos empírico-analíticos sobre a GRCS, MGRCS e ARCS em setores e países distintos para se produzir resultados generalizáveis;
- novas pesquisas sobre a relação entre a GRCS *versus* comportamentos e atitudes de risco; além de análises empíricas para medir a detectabilidade do risco, o tempo de

recuperação ao risco, a duração do risco, a inoperabilidade em caso de interrupções, a propagação do risco, a relação causal entre riscos, entre outros indicadores emergentes da cadeia de suprimentos; e,

- mais investigações sobre os riscos de sustentabilidade da cadeia de suprimentos, incluindo o cenário da transição energética para uma economia de baixo carbono.

Finalmente, há espaço para mais trabalhos no sentido de aprimorar e expandir a proposta de modelagem MCDM/A-IA para GRCS, tais como:

- aperfeiçoar o *framework* holístico baseado no sistema Fuzzy AHP [FEAHP], de modo a contemplar as demais etapas do processo de GRCS, ou seja, referentes à formulação e implementação de possíveis estratégias e ações para a *mitigação de riscos* e o *controle de riscos*, bem como para a *comunicação de riscos* e *recuperação de riscos*. Para tanto, pode ser considerada, inclusive, a associação do método Fuzzy AHP [FEAHP] a outros métodos MCDM/A, programação matemática e ferramentas de IA;
- analisar a eficiência econômica da abordagem computacional Fuzzy AHP [FEAHP] e compará-la com outros métodos MCDM/A, modelos de programação matemática e técnicas de IA;
- aplicar a modelagem Fuzzy AHP [FEAHP] em cadeias de suprimentos inteiras [com interdependências e efeito cascata];
- integrar o método Fuzzy AHP [FEAHP] a modelos de simulação-otimização; e,
- avaliar as vantagens e desvantagens de se desenvolver o método Fuzzy AHP [FEAHP] em outras linguagens de programação, como Python [*open source*], Java [para facilitar a integração com sistemas de gestão, sistemas legados, entre outros] ou JavaScript [para desenvolvimento *web* e em dispositivos móveis], etc.

Não obstante as limitações, admite-se que a referida modelagem contribua com o fértil campo de pesquisa e prática profissional da GRCS, MGRCS e ARCS, promovendo a melhoria da concepção, compreensão, reflexão e do exercício da Gestão de Redes de Suprimentos e Operações.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-BASSET, M. et al. A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain. **Fut. Gen. Comp. Syst.**, v. 90, p. 489-502, 2019. DOI: 10.1016/j.future.2018.08.035.
- ACKOFF, R.L.; SASIENI, M. W. **Fundamentals of operations research**. New York: John Wiley, 1968, p. 468.
- AGCS - Allianz Global Corporate & Specialty. **10th Allianz Risk Barometer**. 2021. Disponível em: <<https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/reports/allianz-risk-barometer.html>> Acesso em: 10 mai. 2021.
- AHMED, F.; KILIC, K. Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A performance analysis of various algorithms. **Fuzzy Sets Syst.**, v. 362, p. 110-128, 2019. DOI:10.1016/j.fss.2018.08.009.
- ALEKSIĆ, A. et al. Advanced risk assessment in reverse supply chain processes: A case study in Republic of Serbia. **Adv. in Prod. Engine. & Manage.**, v. 14, n. 4, p. 421-434, 2019. DOI: 10.14743/apem2019.4.338.
- ALMEIDA, A.T. et al. **Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis**. Suíça: Springer, 2015, 395 p. DOI: 10.1007/978-3-319-17969-8.
- ALMEIDA, A.T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013.
- ALOINI, D. et al. Supply chain management: a review of implementation risks in the construction industry. **Bus. Proc. Manag. J.**, v. 18, n. 5, p. 735-761, 2012. DOI: 10.1108/14637151211270135.
- ANDERSON, D. R. **Corporate Survival: The Critical Importance of Sustainability Risk Management**. New York: Universe Publishing, 2005.
- ANDERSON, D. R.; ANDERSON, K.E. Sustainability risk management. **Risk Manag. Insur. Rev.**, v. 12, n. 1, p. 25–38, 2009. DOI: 10.1111/j.1540-6296.2009.01152.x.
- ANDRADE, E.L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões**. Rio de Janeiro: LTC, 5. ed., 2015, 220 p.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBÚSTIVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2020**. Rio de Janeiro: ANP, 2008. 268 p. il. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/5809-anuario-estatistico-2020>> Acesso em: 05 abr. 2021.
- ANSOFF, H.I. **A nova estratégia empresarial**. São Paulo: Atlas, 1990, 268 p.

API - American Petroleum Institute. Oil and Natural Gas Supply Chains, America's Energy Revolution, Oil Supply Chain [DM2015-036]. 2015. Disponível em: <<https://energyinfrastructure.org/energy-101/oil-supply-chain>> Acesso em: 8 set. 2020.

APPLEQUIST, G.E.; PEKONY, J.F.; REKLAITIS, G.V. Risk and uncertainty in managing chemical manufacturing supply chains. **Comp. Chem. Eng.**, v. 24, n. 9-10, p. 2211-2222, 2000. DOI: 10.1016/S0098-1354(00)00585-8.

AQLAN, F. A software application for rapid risk assessment in integrated supply chains. **Exp. Syst. with Applic.**, v. 43, p. 109-116, 2016. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.08.028.

AQLAN, F.; LAM, S.S. Supply chain optimization under risk and uncertainty: A case study for high-end server manufacturing. **Comput. Ind. Eng.**, v. 93, p. 78-87, 2016. DOI: 10.1016/j.cie.2015.12.025.

ASGARI, N. et al. Supply chain management 1982-2015: A review. **IMA J. Manag. Math.**, v. 27, n. 3, p. 353-379, 2016. DOI: 10.1093/imaman/dpw004.

ASTANTI, R. D.; MBOLLA, S.; AI, T. Raw material supplier selection in a glove manufacturing: Application of AHP and fuzzy AHP. **Dec. Sci. Letters**, v. 9, p. 291-312, 2020. DOI: 10.5267/j.dsl.2020.5.005.

AVELAR-SOSA, L.; GARCÍA-ALCARAZ, J.L.; CASTRELLÓN-TORRES, J.P. The effects of some risk factors in the supply chains performance: a case of study. **J. of App. Res. and Tech.**, v. 12, n. 5, p. 958-968, 2014. DOI: 10.1016/S1665-6423(14)70602-9.

AWASTHI, A.; GOVINDAN, K.; GOLD, S. Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 195, p. 106-117, 2018. DOI:10.1016/j.ijpe.2017.10.013.

BAGHALIAN, A.; REZAPOUR, S.; FARAHANI, R.Z. Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 227, n. 1, p. 199-215, 2013. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.12.017.

BAK, O. Supply chain risk management research agenda: From a literature review to a call for future research directions. **Bus. Proc. Manag. J.**, v. 24, n. 2, p. 567-588, 2018. DOI: 10.1108/BPMJ-02-2017-0021

BANDALY, D. et al. Supply chain risk management - II: A review of operational, financial and integrated approaches. **Risk Manag.**, v. 15, n. 1, 2013. DOI: 10.1057/rm.2012.8

BASTIAN M.; HEYMANN S.; JACOMY M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. In: THIRD INT. ICWSM CONFERENCE, p. 361-362, 2009. Association for the Advancement of Artificial Intelligence. Disponível em: <<https://www.aaai.org/ocs/index.php/ICWSM/09/paper/view/154>> Acesso em: 05 mar. 2020.

BATAGELJ, V.; MRVAR, A. **Pajek: Program for analysis and visualization of large networks - reference manual**. Slovenia: University of Ljubljana, 2011.

BEHZADI, G. et al. Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models. **Omega**, v. 79, p. 21-42, 2018. DOI: 10.1016/j.omega.2017.07.005.

BEN-TAL, A. et al. Robust optimization for emergency logistics planning: Risk mitigation in humanitarian relief supply chains. **Transp. Res. Part B: Method.**, v. 45, n. 8, p. 1177-1189, 2011. DOI: 10.1016/j.trb.2010.09.002.

BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J. Modelling and simulation. In: KARLSSON, C. (Ed.). **Researching operations management**. New York: Routledge, 2009.

BLACKBURN, W. R. **The Sustainability Handbook: The Complete Management Guide to Achieving Social, Economic and Environmental Responsibility**. London: Earthscan, 2007, 826 p.

BLACKHURST, J. et al. An empirically derived agenda of critical research issues for managing supply-chain disruptions. **Int. J. Prod. Res.**, v. 43, n. 19, p. 4067-4081, 2005. DOI: 10.1080/00207540500151549.

BOENDER, C.; DE GRAAN, J.; LOOTSMA, F. Multi-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons. **Fuzzy Sets Syst.**, v. 29, p. 133-143, 1989. DOI:10.1016/0165-0114(89)90187-5.

BOGATAJ, D.; BOGATAJ, M. Measuring the Supply Chain Risk and Vulnerability in Frequency Space. **Int. J. of Prod. Econ.**, v. 108, p. 291-301, 2007. DOI: 10.1016/j.ijpe.2006.12.017.

BOYD, J. COVID-19 Survey: impacts on global supply chains. **Institute for Supply Management (ISM)**. 2020. Disponível em: http://ism.files.cms-plus.com/ISMReport/ISM_Coronavirus%20Survey%20Release_3.11.20_FINAL.pdf. Acesso em: 20 mai. 2020.

BRADLEY, J.R. The complexity of assessing supply chain risk. *In*: THOMAS, A.R. (ed.). **Supply chain Security: International Practices and Innovations in Moving Goods Safely and Efficiently**. Santa Barbara: Praeger, 2010.

BRANCOLI, P. et al. Bread loss rates at the supplier-retailer interface - Analysis of risk factors to support waste prevention measures. **Res., Cons. and Recy.**, v. 147, p. 128-136, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.04.027.

BRANDENBURG, M. et al. Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 233, n. 2, p. 299-312, 2014. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.09.032.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 16509, 02 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso em: 03 jan. 2021.

BRASIL. Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política

Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 16925, 07 ago. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm> Acesso em: 03 jun. 2020.

BRUNDTLAND, G. **Report of the World Commission on Environment and Development**: Our Common Future. United Nations General Assembly document A/42/427, 1987.

BRUNO, G. et al. AHP-based approaches for supplier evaluation: Problems and perspectives. **J. Purch. Supply Manag.**, v. 18, p. 159-172, 2012. DOI:10.1016/j.pursup.2012.05.001.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. Londres: Unwin Hyman, 1989.

BUCKLEY, J.J. Fuzzy hierarchical analysis. **Fuzzy Sets Syst.**, v. 17, p. 233-247, 1985. DOI:10.1016/0165-0114(85)90090-9.

BUGERT, N.; LASCH, R. Supply chain disruption models: A critical review. **Log. Research**, v. 11, n. 5, p. 1-35, 2018. DOI: 10.23773/2018_5.

BÜYÜKÖZKAN, G. An integrated fuzzy multi-criteria group decision-making approach for green supplier evaluation. **Int. J. of Prod. Res.**, v. 50, p. 2892-2909, 2012.

CARNEIRO, M. C.; RIBAS, G. P.; HAMACHER, S. Risk management in the oil supply chain. A CVaR Approach. **Ind. & Enginee. Chem. Res.**, v. 49, n. 7, p. 3286-3294, 2010. DOI: 10.1021/ie901265n.

CAUCHICK-MIGUEL, P.A.; SOUSA, R. O Método do Estudo de Caso na Engenharia de Produção. In: CAUCHICK-MIGUEL, P.A.C. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 3. ed., 2018.

CERQUEIRA, T.L.; BERTONI, F.C.; PIRES, M.G. Instance Genetic Selection for Fuzzy Rule-based Systems Optimization to Opinion Classification. **IEEE Latam Trans.**, v. 18, p. 1215-1221, 2020. DOI:10.1109/TLA.2020.9099762.

CHAI, J.; LIU, J.N.K.; NGAI, E.W.T. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. **Expert Syst. Appl.**, v. 40, p. 3872-3885, 2013. DOI:10.1016/j.eswa.2012.12.040.

CHAI, J.; NGAI, E.W.T. Decision-making techniques in supplier selection: Recent accomplishments and what lies ahead. **Exp. Syst. Appl.**, v. 140, 112903, 2020. DOI:10.1016/j.eswa.2019.112903.

CHAMODRAKAS, I., BATIS, D.; MARTAKOS, D. Supplier selection in electronic marketplaces using satisficing and fuzzy AHP. **Exp. Syst. with App.**, v. 37, p. 490 - 498, 2010. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.05.043.

CHAN, F.T.S. et al. Global supplier selection: A fuzzy-AHP approach. **Int. J. Prod. Res.**, v. 46, n. 14, p. 3825-3857, 2008. DOI: 10.1080/00207540600787200.

CHAN, F.T.S.; CHAN, H.K. An AHP model for selection of suppliers in the fast changing fashion market. **Int. J. Adv. Manuf. Technol.**, v. 51, p. 1195-1207, 2010. DOI:10.1007/s00170-010-2683-6.

CHAN, F.T.S.; KUMAR, N. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. **Omega**, v. 35, n. 4, p. 417-431, 2007. DOI: 10.1016/j.omega.2005.08.004.

CHANG, D. Y. **Extent Analysis and Synthetic Decision: Optimization, Techniques and Applications**. Singapore: World Scientific, 1992, 352 p.

CHANG, D.Y. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 95, p. 649-655, 1996. DOI:10.1016/0377-2217(95)00300-2.

CHAUDHURI, A. et al. A conceptual framework for improving effectiveness of risk management in supply networks. **The Int. J. of Log. Manage.**, v. 31, n. 1, p. 77-98, 2020. DOI: 10.1108/IJLM-11-2018-0289.

CHAUDHURI, A.; MOHANTY, B.K.; SINGH, K.N. Supply Chain Risk Assessment during New Product Development: A Group Decision Making Approach Using Numeric and Linguistic Data. **Int. J. Prod. Res.**, v. 51, p. 2790-2804, 2013. DOI:10.1080/00207543.2012.654922.

CHEN, P.-S.; WU, M.-T. A Modified Failure Mode and Effects Analysis Method for Supplier Selection Problems in the Supply Chain Risk Environment: A Case Study. **Comput. Ind. Eng.**, v. 66, p. 634-642, 2013. DOI:10.1016/j.cie.2013.09.018.

CHICKSAND, D. et al. Theoretical perspectives in purchasing and supply chain management: An analysis of the literature. **Supply Chain Manage.**, v. 17, p. 454-472, 2012.

CHIU, C.H.; CHOI, T.M. Supply chain risk analysis with mean-variance models: A technical review. **Ann. Oper. Res.**, v. 240, n. 2, p. 489-507, 2013. DOI: 10.1007/s10479-013-1386-4.

CHO, D. W. et al. A framework for measuring the performance of service supply chain management. **Comp. & Ind. Enginee.**, v. 62, n. 3, p. 801-818, 2012. DOI: 10.1016/j.cie.2011.11.014.

CHOI, T.Y.; DOOLEY, K.J.; RUNGTUSANATHAM, M. Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence. **J. Oper. Manage.**, v. 19, n. 3, p. 351-366, 2001. DOI: 10.1016/S0272-6963(00)00068-1.

CHOPRA, S.; REINHARDT, G.; MOHAN, U. The importance of decoupling recurrent and disruption risks in a supply chain. **Naval Res. Log.**, v. 54, n. 5, p. 544-555, 2007. DOI: 10.1002/nav.20228.

CHOPRA, S.; SODHI, M. S. Managing Risk to Avoid Supply-chain Breakdown. **MIT Sloan Manage. Review**, v. 46, n. 53-62, 2004. Disponível em: <<https://sloanreview.mit.edu/article/managing-risk-to-avoid-supplychain-breakdown/>> Acesso em: 03 set. 2020.

CHRISTOPHER, M. et al. Approaches to managing global sourcing risk. **Supply Chain Manage.: An Int. J.**, v. 16, n. 2, p. 67-81, 2011. DOI: 10.1108/13598541111115338.

CHRISTOPHER, M. et al. **Understanding supply chain risk: A self-assessment workbook.** Dep. for Transp., Cranfield University: 2003. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1826/4373>> Acesso em: 31 maio 2020.

CHRISTOPHER, M.; LEE, H. Mitigating supply chain risk through improved confidence. **Int. J. Phys. Distr. Log.**, v. 34, n. 5, p. 388-396, 2004. DOI: 10.1108/09600030410545436.

CHRISTOPHER, M.; PECK, H. Building the resilient supply chain. **The Int. J. Log. Manage.**, v. 15, n. 2, p. 1-14, 2004. DOI: 10.1108/09574090410700275.

CLIFT, R. Metrics for supply chain sustainability. **Clean Technol. Environ. Policy**, v. 5, p. 240-247, 2003. DOI: 10.1007/s10098-003-0220-0.

COBO, M.J. et al. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **J. Am. Soc. Inf. Sci. Tec.**, v. 62, p. 1382-1402, 2011. DOI: 10.1002/asi.21525.

COLICCHIA, C. et al. Information sharing in supply chains: a review of risks and opportunities using the systematic literature network analysis (SLNA). **Supply Chain Manage.: An Int. J.**, v. 24, n. 1, p. 5-21, 2019. DOI: 10.1108/SCM-01-2018-0003.

COLICCHIA, C.; STROZZI, F. Supply chain risk management: a new methodology for a systematic literature review. **Supply Chain Manage.**, n. 17, v. 4, p. 403-418, 2012. DOI: 10.1108/13598541211246558.

COUSINS, P.D.; LAMMING, R.C.; BOWEN, F. The role of risk in environment-related supplier initiatives. **Int. J. of Oper. & Prod. Manage.**, v. 24, n. 6, p. 554-565, 2004. DOI: 10.1108/01443570410538104.

CRAIGHEAD, C.W. et al. The severity of supply chain disruptions: Design characteristics and mitigation capabilities. **Decision Sci.**, v. 38, p. 131-156, 2007. DOI:10.1111/j.1540-5915.2007.00151.x.

CRONIN, B.; DING, Y. Popular and/or prestigious? Measures of scholarly esteem. **Infor. Proc. Manage.**, v. 47, p. 80-96, 2011. DOI: 10.1016/j.ipm.2010.01.002.

CRUZ, J. M. Mitigating global supply chain risks through corporate social responsibility. **Int. J. of Prod. Res.**, v. 51, n. 13, p. 3995-4010, 2013. DOI: 10.1080/00207543.2012.762134.

CUCCHIELLA, F.; GASTALDI, M. Risk management in supply chain: A real option approach. **J. Manuf. Techno. Manage.**, v. 17, n. 6, p. 700-720, 2006. DOI: 10.1108/17410380610678756.

DAMERT, M. et al. Motivating low-carbon initiatives among suppliers: The role of risk and opportunity perception. **Res., Cons. and Recy.**, v. 136, pp. 276-286, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.05.002.

DEBACKERE, K.; VEUGELERS, R. The role of academic technology transfer organizations in improving industry science links. **Res. Policy**, v. 34 n. 3, p. 321-342, 2005.

DOI:10.1016/j.respol.2004.12.003

DÍAZ-CURBELO, A.; ESPIN ANDRADE, R.A.; GENTO MUNICIO, Á.M. The Role of Fuzzy Logic to Dealing with Epistemic Uncertainty in Supply Chain Risk Assessment: Review Standpoints. **Int. J. Fuzzy Syst.**, v. 22, p. 2769-2791, 2020. DOI: 10.1007/s40815-020-00846-5.

DING, Q.; DONG, L.; KOUVELIS, P. On the integration of production and financial hedging decisions in global markets. **Oper. Res.**, v. 55, n. 3, p. 470-489, 2007. DOI:

10.1287/opre.1070.0364.

DU, S. et al. Game-theoretic analysis for an emission-dependent supply chain in a 'cap-and-trade' system. **Ann. Oper. Res.**, v. 228, n. 1, p. 135-149, 2015. DOI: 10.1007/s10479-011-0964-6.

EGRI, P. A centralized/decentralized design of a full return contract for a risk-free manufacturer and a risk-neutral retailer under partial information sharing: a discussion. **Int. J. of Prod. Econ.**, v. 141, n. 1, p. 437-438, 2013. DOI: 10.1016/j.ijpe.2012.07.016.

ELLIS, S. C.; HENRY, R. M.; SHOCKLEY, J. Buyer Perceptions of Supply Disruption Risk: A Behavioral View and Empirical Assessment. **J. Oper. Manag.**, v. 28, p. 34-46, 2010.

DOI: 10.1016/j.jom.2009.07.002.

EMROUZNEJAD, A.; HO, W. **Fuzzy Analytic Hierarchy Process**. Boca Raton: CRC Press, 2017. DOI: 10.1201/9781315369884.

ENDNOTE WEB. 2020. Disponível em: <<http://www.myendnoteweb.com>> Acesso em: 04 mar. 2020.

ENYINDA, C. I. et al. Petroleum Supply Chain Risk Analysis in a Multinational Oil Firm in Nigeria. **J. of Mark. Develop. and Competitiv.**, v. 5, n. 7, p. 37-44, 2011. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Petroleum-Supply-Chain-Risk-Analysis-in-a-Firm-in-Enyinda-Briggs/e63c5d98d1b3a66db01329579f6ca7ed4d346c34>> Acesso em: 11 jun. 2020.

ER KARA, M.; FIRAT, S.Ü.O. Supplier Risk Assessment Based on Best-Worst Method and K-Means Clustering: A Case Study. **Sustainability**, v. 10, 1066, 2018.

DOI:10.3390/su10041066.

ESKANDARPOUR, M. et al. Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. **Omega**, v. 54, p. 11-32, 2015. DOI: 10.1016/j.omega.2015.01.006.

ESMAEILIKIA, M. et al. Tactical supply chain planning models with inherent flexibility: Definition and review. **Ann. Oper. Res.**, v. 244, n. 2, p. 407-427, 2016. DOI:

10.1007/s10479-014-1544-3.

FAGUNDES, M.V.C. et al. Decision-making models and support systems for supply chain risk: literature mapping and future research agenda. **Eur. Res. on Manage. and Bus. Econo.**, v. 26, n. 2, p. 63-70, 2020a. DOI: 10.1016/j.iedeen.2020.02.001.

FAGUNDES, M.V.C. et al. Multicriteria decision-making system for supplier selection considering risk: a computational Fuzzy AHP-based approach. **IEEE Latin Am. Trans.**, v. 19, n. 9, p. 1564-1572, 2021. DOI: 10.1109/TLA.2021.9468610.

FAGUNDES, M.V.C. et al. Projeto de desenvolvimento de modelo de inteligência artificial para gestão de riscos da cadeia de suprimentos de energia. *In*: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTUDOS ORGANIZACIONAIS (CBEO), 6., ago. 28-31, 2019, Recife (PE). **Anais [...]**. Recife (PE): UFPE, 2019. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/vicbeo/168365-projeto-de-desenvolvimento-de-modelo-de-inteligencia-artificial-para-gestao-de-riscos-da-cadeia-de-suprimentos-de/>> Acesso em: 03 mai. 2021.

FAGUNDES, M.V.C. et al. Quantitative and computational modeling for supply chain risk management: review and bibliometric analysis. *In*: XXI SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO (SEMEAD) e XIII RESEARCH WORKSHOP ON INSTITUTIONS AND ORGANIZATIONS (RWIO), 21., nov. 7-9, 2018, São Paulo (SP). **Anais [...]**. São Paulo (SP): USP, 2018. Disponível em: <https://login.semead.com.br/21semead/anais/resumo.php?cod_trabalho=598> Acesso em: 20 ago. 2021.

FAGUNDES, M.V.C. et al. Seleção de áreas para licitações através do método TOPSIS. *In*: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA (CBE), 17., nov. 21-22, 2017, Rio de Janeiro (RJ). **Anais [...]**. Rio de Janeiro (RJ): CBE, 2017.

FAGUNDES, M.V.C. et al. Supply chain risk management modelling: a systematic literature network analysis review. **IMA J. Manage. Math.**, v. 31, n. 4, p. 387-416, 2020b. DOI: 10.1093/imaman/dpaa019.

FAGUNDES, M.V.C.; FREIRES, F.G.M.; VIEIRA DE MELO, S.B.A. Strategic management model supply chain risk upstream oil and natural gas fields mature onshore. *In*: 5TH PRODUCTION & OPERATIONS MANAGEMENT WORLD CONFERENCE: Joining P&OM Forces Worldwide, Present and Future of Operations Management (P&OM), 5., set. 6-10, 2016, Havana - Cuba.

FAGUNDES, M.V.C.; HELLINGRATH, B.; FREIRES, F.G.M. Supplier selection risk: a new computer-based decision-making system with Fuzzy Extended AHP. **Logistics**, v. 5, n. 13, 17 p., 2021. DOI: 10.3390/logistics5010013.

FAGUNDES, M.V.C.; MARQUES, R.S.; FREIRES, F.G.M. Gestão da cadeia de suprimentos para sistemas de energias renováveis: conceitos e reflexões sobre a realidade brasileira. *In*: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 36., out. 3-6, 2016, João Pessoa (PB). **Anais [...]**. João Pessoa (PB): ABEPRO, 2016. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_236_374_29904.pdf> Acesso em 12 abr. 2021.

FAHIMNIA, B. et al. Quantitative models for managing supply chain risks: A review. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 247, p. 1-15, 2015. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.04.034.

FAISAL, M.N.; BANWET, D.K.; SHANKAR, R. Quantification of risk mitigation environment of supply chains using graph theory and matrix methods. **Eur. J. Ind. Eng.**, v. 1, p. 22-39, 2007. DOI: 10.1504/EJIE.2007.012652.

FAN, Y.; HEILIG, L.; VOSS, S. Supply chain risk management in the Era of Big Data. In: MARCUS A. (Ed.) Design, user experience, and usability: Design discourse. **Lect. Notes Comput. Sc.**, v. 9186. Suíça: Springer, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-20886-2_27.

FAN, Y.; STEVENSON, M. A review of supply chain risk management: Definition, theory, and research agenda. **Int. J. Phys. Distr. Log.**, v. 48, n. 3, p. 205-230, 2018. DOI: 10.1108/IJPDLM-01-2017-0043.

FANG, C.; LIAO, X.; XIE, M. A Hybrid Risks-informed Approach for the Selection of Supplier Portfolio. **Int. J. Prod. Res.**, v. 54, p. 2019-2034, 2016. DOI:10.1080/00207543.2015.1076947.

FERNANDES, L. J.; BARBOSA-PÓVOA, A. P. F. D.; RELVAS, S. I. C. Risk Management Framework for the Petroleum Supply Chain. **Comp. Aided Chem. Enginee.**, v. 28, p. 157-162, 2010. DOI: 10.1016/S1570-7946(10)28027-6.

FERNANDES, R. **Engenharia de software**. Curitiba: Fael, 2017, 263 p.

FINCH, P. Supply chain risk management. **Supply Chain Manage.**, v. 9, n. 2, p. 183-196, 2004. DOI: 10.1108/13598540410527079.

FLOR, A. J. Análise de Risco Financeiro em Projetos do Setor de Petróleo e Gás. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA (SEGeT), 9., 2012, Rezende. **Anais eletrônicos** [...]. Rezende: AEDB, 2012. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/44316466.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2021.

FOERSTL, K. et al. Managing supplier sustainability risks in a dynamically changing environment - Sustainable supplier management in the chemical industry. **J. of Purch. and Supp. Manage.**, v. 16, n. 2, p. 118-130, 2010. DOI: 10.1016/j.pursup.2010.03.011.

FRIDAY, D. et al. Collaborative risk management: a systematic literature review. *Int. J. of Physical Distrib. and Log. Manage.*, v. 48, n. 3, p. 231-253, 2018. DOI: 10.1108/IJPDLM-01-2017-0035.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL [FMI]. 2020. **World Economic Outlook 2020**: Chapter 1 The Great Lockdown. Washington: 2020. Disponível em:<<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/04/14/weo-april-2020>> Acesso em: 10 jul. 2020.

GANGA, G.M.D. **Trabalho de Conclusão de Curso [TCC] na Engenharia de Produção**: um guia prático de conteúdo e forma. São Paulo: Atlas, 2012, 384 p.

GANGULY, K.; KUMAR, G. Supply Chain Risk Assessment: a fuzzy AHP approach. **Oper. and Supp. Chain Manage.: An Int. Journal**, v. 12, n. 1, p. 1-13, 2019. DOI: 10.31387/oscm0360217.

GANGULY, K.K.; GUIN, K.K. A fuzzy AHP approach for inbound supply risk assessment. **Benchmarking: An Int. J.**, v. 20, n. 1, p. 129-146, 2013. DOI: 10.1108/14635771311299524.

GARFIELD, E. The History and meaning of the Journal Impact Factor. **JAMA: The J. Am. Med. Assoc.**, v. 295, p. 90-93, 2006. DOI: 10.1001/jama.295.1.90.

GARVEY, M.D.; CARNOVALE, S.; YENIYURT, S. An analytical framework for supply network risk propagation: A bayesian network approach. **Eur. J. of Oper. Res.**, v. 243, p. 618–627, 2015. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.10.034.

GAUDENZI, B.; BORGHESI, A. Managing risks in the supply chain using the AHP method. **The Int. J. Log. Manage.**, v. 17, n. 1, p. 114-136, 2006. DOI: 10.1108/09574090610663464.

GEBRESLASSIE, B.H.; YAO, Y.; YOU, F. Design under uncertainty of hydrocarbon biorefinery supply chains: Multiobjective stochastic programming models, decomposition algorithm, and a comparison between CVaR and downside risk. **AIChE J.**, v. 58, p. 2155-2179, 2012. DOI:10.1002/aic.13844.

GHADGE, A. et al. A systems approach for modelling supply chain risks. **Supply Chain Manage.**, v. 18, n. 5, p. 523-538, 2013. DOI: 10.1108/SCM-11-2012-0366.

GHADGE, A. et al. Managing cyber risk in supply chains: a review and research agenda. **Supp. Chain Manage.**, v. 25, n. 2, p. 223-240, 2019. DOI: 10.1108/SCM-10-2018-0357.

GHADGE, A.; DANI, S.; KALAWSKY, R. Supply chain risk management: present and future scope. **Int. J. Log. Manage.**, v. 23, n. 3, p. 313-339, 2012. DOI: 10.1108/09574091211289200.

GIANNAKIS, M.; LOUIS, M. A multi-agent based framework for supply chain risk management. **J. of Purch. and Supply Manage.**, v. 17, n. 1, p. 23-31, 2011. DOI: 10.1016/j.pursup.2010.05.001.

GIANNAKIS, M.; PAPADOPOULOS, T. Supply chain sustainability: A risk management approach. **Int. J. of Prod. Econ.**, v. 171, part 4, p. 455-470, 2016. DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.06.032.

GILAT, A.; SUBRAMANIAM, V. **Métodos Numéricos para Engenheiros e Cientistas** [recurso eletrônico]: uma introdução com aplicações usando o MATLAB. Porto Alegre: Bookman, 2008, 480 p.

GOLD, S.; AWASTHI, A. Sustainable global supplier selection extended towards sustainability risks from (1+n)th tier suppliers using fuzzy AHP based approach. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n 3, p. 966-971, 2015. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.208.

GOUDA, S. K; SARANGA, H. Sustainable supply chains for supply chain sustainability: impact of sustainability efforts on supply chain risk. **Int. J. of Prod. Res.**, v. 56, n. 17, p. 5820-5835, 2018. DOI: 10.1080/00207543.2018.1456695.

GUERTLER, B.; SPINLER, S. Supply risk interrelationships and the derivation of key supply risk indicators. **Tech. Forec. and Social Change**, v. 92, pp. 224-236, 2015. DOI: 10.1016/j.techfore.2014.09.004.

GULER, D. Fuzzy AHP (Chang) (Liou, Wang). MATLAB Central File Exchange. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66688-fuzzy-ahp-chang-liou-wang>> Acesso em: 18 de mar. 2022.

HAHN, G. J.; KUHN, H. Value-based Performance and Risk Management in Supply Chains: A Robust Optimization Approach. **Int. J. of Prod. Econo.**, v. 139, n. 1, p. 135-144, 2012. DOI: 10.1016/j.ijpe.2011.04.002.

HALLDÓRSSON, A.; KOTZAB, H.; SKJØTT-LARSEN, T. Supply chain management on the crossroad to sustainability: a blessing or a curse? **Logist. Res.**, v. 1, p. 83–94, 2009. DOI: s/n.

HALLIKAS, J.; VIROLAINEN, V.M.; TUOMINEN, M. Risk analysis and assessment in network environments: a dyadic case study. **Int. J. of Prod. Econo.**, v. 78, n. 1, p. 45-55, 2002. DOI: 10.1016/S0925-5273(01)00098-6.

HARLAND, C.; BRENCHLEY, R.; WALKER, H. Risk in supply networks. **J. Purch. Supp. Manage.**, v. 9, n. 2, p. 51-62, 2003. DOI: 10.1016/S1478-4092(03)00004-9.

HARWOOD, I; HUMBY, S. Embedding corporate responsibility into supply: A snapshot of progress. **Eur. Manage. J.**, v. 26, n. 3, p. 166-174, 2008. DOI: 10.1016/j.emj.2008.01.005.

HAZEN, B. T. et al. Data quality for data science, predictive analytics, and Big Data in supply chain management: An introduction to the problem and suggestions for research and applications. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 154, p. 72–80, 2014. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.04.018.

HECKMANN, I.; COMES, T.; NICKEL, S. A critical review on supply chain risk: Definition, measure and modeling. **Omega**, v. 52, p. 119-132, 2015. DOI: 10.1016/j.omega.2014.10.004.

HENDRICKS, K.B.; SINGHAL, V.R. An empirical analysis of the effect of supply chain disruptions on long-run stock price performance and equity risk of the firm. **Prod. Oper. Manage.**, v. 14, p. 35-52, 2005. DOI:10.1111/j.1937-5956.2005.tb00008.x.

HENDRICKS, K.B.; SINGHAL, V.R. The effect of supply chain glitches on shareholder wealth. **J. Oper. Manage.**, v. 21, n. 5, p. 501-522, 2003. DOI: 10.1016/j.jom.2003.02.003.

HIRSCH, J. E. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 102, n. 46, p. 16569-16572, 2005. DOI: 10.1073/pnas.0507655102.

HMIEL, B. et al. Preindustrial 14CH4 indicates greater anthropogenic fossil CH4 emissions. **Nature**, v. 578, p. 409 - 412, 2020. DOI: 10.1038/s41586-020-1991-8.

HO, W. et al. Supply chain risk management: A literature review. **Int. J. Prod. Res.**, v. 53, n. 16, p. 5031-5069, 2015. DOI: 10.1080/00207543.2015.1030467.

HO, W., XU, X., DEY, P.K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: a literature review. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 202, n. 1, p. 16-24, 2010. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.05.009.

HOFMANN, H. et al. Sustainability-Related Supply Chain Risks: Conceptualization and Management. **Bus. Strat. Env.**, v. 23, p. 160-172, 2014. DOI:10.1002/bse.1778.

HOLMSTRÖM, J. et al. The Digitalization of Operations and Supply Chain Management: Theoretical and Methodological Implications. **J. of Oper. Manage.**, v. 65, n. 8, p. 728-734, 2019. DOI: 10.1002/joom.1073.

HUDNURKAR M. et al. Supply Chain Risk Classification Schemes: A Literature Review. **Oper. and Supply Chain Manage.**, v. 10, n. 4, p. 182-199, 2017. DOI: 10.31387/oscm0290190.

HUNG, S. J. Activity-based Divergent Supply Chain Planning for Competitive Advantage in the Risky Global Environment: A DEMATEL-ANP Fuzzy Goal Programming Approach. **Exp. Syst. with App.**, v. 38, pp 9053-9062, 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.09.024.

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Média de produção de petróleo dos poços onshore (barril por dia) - fev. 2019**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/media-de-producao-de-petroleo-dos-pocos-onshore/>> Acesso em: 10 abr. 2021.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2021**: Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO₂ emissions in 2021. France, 2021a. 36 p. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>> Acesso em: 5 abr. 2021.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Net Zero by 2050**: A roadmap for the Global Energy Sector. France, 2021b. 224 p. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>> Acesso em: 30 abr. 2021.

IOANNIDOU, D. et al. Evaluating the risks in the construction wood product system through a criticality assessment framework. **Res., Cons. and Recy.**, v. 146, p. 68-76, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.03.021.

ISM - INSTITUTE FOR SUPPLY MANAGEMENT. COVID-19 and supply chains: increasing impacts, decreasing revenues. Disponível em: <<https://weareism.org/docs/White-Paper-Corona-V2.pdf>> Acesso em: 20 dez. 2020.

JAIN, N.; SINGH, A.R. Sustainable supplier selection under must-be criteria through Fuzzy inference system. **J. Clean. Prod.**, v. 248, 119275, 2020. DOI:0.1016/j.jclepro.2019.119275.

JHARKHARIA, S.; SHANKAR, R. Selection of logistics service provider: An analytic network process ANP approach. **Omega**, v. 35, p. 274-289, 2007. DOI:10.1016/j.omega.2005.06.005.

JOHN, A. et al. An integrated fuzzy risk assessment for seaport operations. **Saf. Sci.**, v. 68, p. 180-194, 2014. DOI: 10.1016/j.ssci.2014.04.001.

JUNG, C.F. **Metodologia Científica**: ênfase em pesquisa tecnológica. 4. ed., 2004. Disponível em: < <http://www.jung.pro.br/moodle/>> Acesso em: 31 jun. 2021.

JÜTTNER, U. Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective. **The Int. J. Log. Manage.**, v. 16, n. 1, p. 120-141, 2005. DOI: 10.1108/09574090510617385.

JÜTTNER, U., PECK, H.; CHRISTOPHER, M. Supply chain risk management: outlining an agenda for future research. **Int. J. Logist - Res. App.**, v. 6, n. 4, p. 197-210, 2003. DOI: 10.1080/13675560310001627016.

KABRA, G.; RAMESH, A.; ARSHINDER, K. Identification and prioritization of coordination barriers in humanitarian supply chain management. **Int. J. of Disaster Risk Reduc.**, v. 13, p. 128-138, 2015. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2015.01.011.

KACHE, F.; SEURING, S. Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. **Int. J. Oper. Prod. Manage.**, v. 37, n. 1, p. 10-36, 2017. DOI: 10.1108/IJOPM-02-2015-0078.

KAFA, N.; JAEGLER, A.; SARKIS, J. Harnessing Corporate Sustainability Decision-Making Complexity: A Field Study of Complementary Approaches. **Sustainability**, v. 12, 10584, 2020. DOI:10.3390/su122410584.

KAHRAMAN, C. Multi-criteria decision making methods and Fuzzy sets. In: KAHRAMAN, C. (Ed). **Fuzzy Multicriteria Decision Making**: Theory and Applications with Recent Development. Istanbul: Springer, 2008. Disponível em:<<https://www.springer.com/gp/book/9780387768120>> Acesso em: 11 dez. 2020.

KAHRAMAN, C.; CEBECI, U.; ULUKAN; Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. **Log. Inf. Manage.**, v. 16, n. 6, p. 382–394, 2003. DOI: 10.1108/09576050310503367.

KERAMATI, A. et al. A novel methodology for evaluating the risk of CRM projects in fuzzy environment. **Neural Comput. & App.**, v. 23, p. 29-53, 2013. DOI:10.1007/s00521-012-1216-7.

KERN, D. et al. Supply risk management: model development and empirical analysis. **Int. J. Phys. Distr. Log.**, v. 42, n. 1, p. 60-82, 2012. DOI: 10.1108/09600031211202472.

KEXIN, B; PING, H.; HUI, Y. Risk identification, evaluation and response of low-carbon technological innovation under the global value chain: A case of the Chinese manufacturing industry. **Tech. Forec. and Social Change**, v. 100, p. 238-248, 2015. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.07.005.

KHAN, F.I.; SADIQ, R.; HADDARA, M.M. Risk-Based Inspection and Maintenance (RBIM): Multi-Attribute Decision-Making with Aggregative Risk Analysis. **Proc. Safe. and Env. Protec.**, v. 82, n. 6, p. 398-411, 2004. DOI: 10.1205/psep.82.6.398.53209.

KHAN, O.; BURNES, B. Risk and supply chain management: Creating a research agenda. **Int. J. Log. Manage.**, v. 18, n. 2, p. 197-216, 2007. DOI: 10.1108/09574090710816931.

KHAN, S. et al. Prioritising the risks in Halal food supply chain: an MCDM approach. **J. of Islamic Mark.**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2019. DOI: 10.1108/JIMA-10-2018-0206.

KHOJASTEY, Y. **Supply Chain Risk Management: Advanced Tools, Models, and Developments**. Suíça: Springer, 2018, 334 p.

KILINCCI, O.; ONAL, S.A. Fuzzy ahp approach for supplier selection in a washing machine company. **Exp. Syst. with App.**, v. 38, n. 8, p. 9656–9664, 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.01.159.

KILUBI, I. The strategies of supply chain risk management - a synthesis and classification. **Int. J. Log. Res. Applications**, v. 19, n. 6, p. 604-629, 2016. DOI: 10.1080/13675567.2016.1150440.

KILUBI, I.; HAASIS, H. Supply chain risk management enablers - A framework development through systematic review of the literature from 2000 to 2015. **Int. J. Bus. Sci. App. Manage**, v. 10, p. 35-54, 2015.

KIRILMAZ, O.; EROL, S. A proactive approach to supply chain risk management: shifting orders among suppliers to mitigate the supply side risks. **J. of Purch. and Supply Manage.**, v. 23, n. 1, p. 54-65, 2017. DOI: 10.1016/j.pursup.2016.04.002.

KLEINDORFER, P. R.; SAAD, G. H. Managing disruption risks in supply chains. **Prod. and Oper. Manage.**, v. 14, n. 1, p. 53-68, 2005. DOI:10.1111/j.1937-5956.2005.tb00009.x.

KLIBI, W.; MARTEL, A.; GUITOUNI, A. The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 203, p. 283-293, 2010. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.06.011.

KÖCHE, J.C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 34. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014, 184 p.

KONYS, A. Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Comprehensive Knowledge Base. **Sustainability**, v. 11, 4208, 2019. DOI:10.3390/su11154208.

KOTZAB, H. et al. (Ed.). **Research methodologies in supply chain management**. Heidelberg: Physica - Verlag, 2005.

KOUL, S.; VERMA, R. Dynamic vendor selection based on fuzzy AHP. **J. Manuf. Tech. Manage.**, v. 22, n. 8, p. 963–971, 2011. DOI: 10.1108/17410381111177421.

KUBLER, S. et al. A state-of-the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. **Exp. Syst. with App.**, v. 65, p. 398-422, 2016. DOI: 10.1016/j.eswa.2016.08.064.

KULL, T.J.; TALLURI, S. A supply risk reduction model using integrated multicriteria decision making. **IEEE Trans. Eng. Manage.**, v. 55, n. 3, p. 409-419, 2008. DOI:10.1109/TEM.2008.922627.

KUMAR D.; GARG, C.P. Evaluating sustainable supply chain indicators using Fuzzy AHP: Case of Indian automotive industry. **Benchmarking: An Int. J.**, v. 24, n. 6, p. 1742-1766, 2017. DOI: 10.1108/BIJ-11-2015-0111.

KUMAR, J.; ROY, N. Analytic hierarchy process (AHP) for a power transmission industry to vendor selection decisions. **Int. J. Comput. Appl.**, v. 12, p. 26-30, 2011. DOI:10.5120/1727-2336.

KUMAR, M.; VRAT, P.; SHANKAR, R. A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 101, p. 273-285, 2006. DOI:10.1016/j.ijpe.2005.01.005.

LAVASTRE, O.; GUNASEKARAN, A., SPALANZANI, A. Effect of firm characteristics, supplier relationships and techniques used on Supply Chain Risk Management (SCRM): an empirical investigation on French industrial firms. **Int. J. of Prod. Res.**, v. 52, n. 11, 3381-3403, 2014. DOI: 10.1080/00207543.2013.878057.

LAVASTRE, O.; GUNASEKARAN, A.; SPALANZANI, A. Supply chain risk management in french companies. **Dec. Supp. Syst.**, v. 52, n. 4, p. 828-838, 2012. DOI: 10.1016/j.dss.2011.11.017.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation Modeling and Analysis**. Boston: McGraw-Hill, 3. ed., 2000.

LEE, A.H.I. A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. **Expert Syst. Appl.**, v. 36, p. 2879-2893, 2009. DOI:10.1016/j.eswa.2008.01.045.

LEE, H.L.; WHANG, S. Information sharing in a supply chain. **Int. J. of Tech. Manage.**, v. 20, n. 3/4, p. 373-387, 2000. DOI: 10.1504/IJMTM.2000.001329.

LI, G. et al. Joint supply chain risk management: an agency and collaboration perspective. **Int. J. of Prod. Econ.**, v. 164, p. 83-94, 2015. DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.02.021.

LI, M. et al. Risk assessment of supply chain for pharmaceutical excipients with AHP-fuzzy comprehensive evaluation. **Drug Dev. Ind. Pharm.**, v. 42, n. 4, p. 676-684, 2016. DOI: 10.3109/03639045.2015.1075027.

LIMA JUNIOR, F.R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L.C.R. Multicriteria decision methods for supplier selection: A literature review on the state of the art. **Gest. Prod.**, v. 20, p. 781-801, 2013. DOI:10.1590/S0104-530X2013005000005.

LIU, Z.; NAGURNEY, A. Supply Chain Outsourcing under Exchange Rate Risk and Competition. **Omega: The Int. J. Manage. Sci.**, v. 39, p. 539-549, 2011. DOI: 10.1016/j.omega.2010.11.003.

LOCKAMY, A.; MCCORMACK, K. Analysing Risks in Supply Networks to Facilitate Outsourcing Decisions. **Int. J. Prod. Res.**, v. 48, p. 593-611, 2010. DOI:10.1080/00207540903175152.

LUBISCO, N.M.L.; VIEIRA, S.C. **Manual de estilo acadêmico**: trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses. 6. ed. Salvador: EDUFBA, 2019. 158 p.

MA, R.M.; YAO, L.F.; HUANG, R. The Green Supply Chain Management Risk Analysis. **Adv. Mat. Res.**, v. 573–574, p. 734–739, 2012. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.573-574.734.

MANGLA, S.K.; KUMAR, P.; BARUA, M.K. An integrated methodology of FTA and fuzzy AHP for risk assessment in green supply chain. **Int. J. of Op. Res.**, v. 25, n. 1, p. 77-99, 2016. DOI: 10.1504/IJOR.2016.073252.

MANGLA, S.K.; KUMAR, P.; BARUA, M.K. Flexible Decision Approach for Analysing Performance of Sustainable Supply Chains Under Risks/Uncertainty. **Glob. J. Flex. Syst. Manage.**, v. 15, p. 113-130, 2014. DOI: 10.1007/s40171-014-0059-8.

MANGLA, S.K.; KUMAR, P.; BARUA, M.K. Flexible decision modeling for evaluating the risks in green supply chain using fuzzy AHP and IRP methodologies. **Glob. J. Flex. Syst. Manage.**, v. 16, n. 1, p. 19-35, 2015a. DOI: 10.1007/s40171-014-0081-x.

MANGLA, S.K.; KUMAR, P.; BARUA, M.K. Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study. **Res., Cons. and Recy.**, v. 104, part B, p. 375-390, 2015b. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.01.001.

MANUJ, I.; MENTZER, J.T. Global supply chain risk management. **J. Bus. Logist.**, v. 29, n. 1, p. 133, 2008. DOI: 10.1108/09600030810866986.

MARCH, J.; SHAPIRA, Z. Managerial perspectives on risk and risk taking. **Manage. Sci.**, v. 33, n. 11, p. 1404-1418, 1987. DOI: 10.1287/mnsc.33.11.1404.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 9. ed., 2021, 368 p.

MARTINS, R.A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: CAUCHICK-MIGUEL, P.A.C. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 3. ed., 2018.

MAVI, R.K. et al. Identification and Assessment of Logistical Factors to Evaluate a Green Supplier Using the Fuzzy Logic DEMATEL Method. **Polish J. of Env. Stud.**, v. 22, n. 2, p. 445-455, 2013. Disponível em: <<http://www.pjoes.com/Identification-and-Assessment-of-Logistical-Factors-r-nto-Evaluate-a-Green-Supplier,88997,0,2.html>> Acesso em: 10 jan. 2020.

MEENA, P.; SARMAH, S.; SARKAR, A. Sourcing Decisions under Risks of Catastrophic Event Disruptions. **Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.**, v. 47, p. 1058-1074, 2011. DOI:10.1016/j.tre.2011.03.003.

MEIXNER, O. Fuzzy AHP group decision analysis and its application for the evaluation of energy sources. In: INT. SYMP. ON THE ANALYTIC HIERARCHY/NETWORK PROCESS, 10., 2009, Pittsburgh. **Proceedings [...]** v. 29, p. 2-16, 2009. Disponível em:

<<https://www.semanticscholar.org/paper/FUZZY-AHP-GROUP-DECISION-ANALYSIS-AND-ITS-FOR-THE-Meixner/561437552bd5a048641b80fbf4e4654035db700f>> Acesso: 10 abr. 2020.

MICHELI, G.J.L.; CAGNO, E.; ZORZINI, M. Supply risk management vs supplier selection to manage the supply risk in the EPC supply chain. **Manag. Res. News**, v. 31, p. 846-866, 2008. DOI:10.1108/01409170810913042.

MINTZBERG, H.; QUINN, J. B. **O processo da estratégia**. Porto Alegre: Bookman, 3. ed., 2003, 408 p.

MISHRA, B.K.; RAGHUNATHAN, S. Retailer- vs. Vendor-managed inventory and brand competition. **Manage. Sci.**, v. 50, n. 4, p. 445-457, 2004. DOI: 10.1287/mnsc.1030.0174.

MISHRA, D. et al. Big Data and supply chain management: A review and bibliometric analysis. **Ann. Oper. Res.**, v. 270, p. 313-336, 2018. DOI: 10.1007/s10479-016-2236-y.

MITCHELL, V.-W. Organizational risk perception and reduction: a literature review. **British J. of Manage.**, v. 6, n. 2, p. 115-133, 1995. DOI: 10.1111/j.1467-8551.1995.tb00089.x.

MOGHADDAM, K.S. Supplier Selection and Order Allocation in Closed-loop Supply Chain Systems Using Hybrid Monte Carlo Simulation and Goal Programming. **Int. J. Prod. Res.**, v. 53, p. 6320-6338, 2015. DOI:10.1080/00207543.2015.1054452.

MOHIB, A.M.N.; DEIF, A. M. Supply chain multi-state risk assessment using universal generating function. **Prod. Plan. and Control**, v. 31, n. 9, p. 699-708, 2020. DOI: 10.1080/09537287.2019.1680891.

MULHALL, R.A.; BRYSON, J. R. Energy price risk and the sustainability of demand side supply chains, **App. Energy**, v. 123, p. 327-334, 2014. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.01.018.

NAGURNEY, A. et al. Supply chain networks, electronic commerce, and supply side and demand side risk. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 164, n. 1, p. 120-142, 2005. DOI: 10.1016/j.ejor.2003.11.007.

NANDI, S. et al. Redesigning Supply Chains using Blockchain-Enabled Circular Economy and COVID-19 Experiences. **Sust. Prod. and Cons.**, v. 27, p. 10-22, 2021. DOI: 10.1016/j.spc.2020.10.019.

NASSAR, S. et al. Automotive recall risk: impact of buyer-supplier relationship on supply chain social sustainability. **Int. J. of Prod. and Perf. Manage.**, v. 69, n. 3, p. 467-487, 2020. DOI: 10.1108/IJPPM-01-2019-0026.

NATARAJARATHINAM, M.; CAPAR, I.; NARAYANAN, A. Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights. **Int. J. Phys. Distr. Log.**, v. 39, n. 7, p. 535-573, 2009. DOI: 10.1108/09600030910996251.

NAZAM, M. et al. A Fuzzy AHP-TOPSIS Framework for the Risk Assessment of Green Supply Chain Implementation in the Textile Industry. **Int. J. of Supp. and Operat. Manage.**, v. 2, n. 1, p. 548-568, 2015. DOI: 10.22034/2015.1.02.

NETO, R.M.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: CAUCHICK-MIGUEL, P.A.C. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 3. ed., 2018.

NGAN, S.L. et al. A Novel Risk Assessment Model for Green Finance: the Case of Malaysian Oil Palm Biomass Industry. **Proc. Integr. Optim. Sustain.**, v. 3, p. 75–88, 2019. DOI: 10.1007/s41660-018-0043-4.

NORRMAN, A.; JANSSON, U. Ericsson's Proactive Supply Chain Risk Management Approach after a Serious Sub-supplier Accident. **Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.**, v. 34, n. 5, p. 434-456, 2004. DOI: 10.1108/09600030410545463.

OLIVEIRA, F.R.S.; LIMA NETO, F.B. Personalizing the explanation extraction in Intelligent Decision Support Systems. In: 16TH IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (CISTI), 16., 2021, p. 1-6, Chaves-Portugal. **Anais eletrônicos** [...]. Chaves: IEEE, 2021. DOI: 10.23919/CISTI52073.2021.9476588.

OLIVEIRA, J.B. et al. The role of simulation and optimization methods in supply chain risk management: Performance and review standpoints. **Sim. Modell. Prac. and The.**, v. 92, p. 17-44, 2019. DOI: 10.1016/j.simpat.2018.11.007.

OLIVEIRA, U.R.; ESPINDOLA, L.S.; MARINS, F.A.S. Analysis of supply chain risk management researches. **Gest. Prod.**, v. 25, n. 4, 2018. DOI: 10.1590/0104-530x3515-16.

OLSON, D.L.; WU, D.D. A review of enterprise risk management in supply chain. **Kybernetes**, v. 39, n. 5, p. 694-706, 2010. DOI: 10.1108/03684921011043198.

PECK, H. Reconciling supply chain vulnerability, risk and supply chain management. **Int. J. Logist. - Res. App.**, v. 9, p. 127-142, 2006. DOI: 10.1080/13675560600673578.

PEIDRO, D. et al. Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: a review. **Int. J. Adv. Manuf. Tech**, v. 43, p. 400-420, 2009. DOI: 10.1007/s00170-008-1715-y.

PERSSON, O.; DANELL, R.; SCHNEIDER, J.W. How to use bibexcel for various types of bibliometric analysis. In: ÅSTRÖM, F. et al. (Ed.). **Celebrating scholarly communication studies: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday**. International Society for Scientometrics and Informetrics, p. 9-24.

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. **Logist. Res.**, v. 2, p. 33-44, 2010. DOI: 10.1007/s12159-010-0023-8

PORTER, M.E. **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. São Paulo: Gen Atlas, 2005, 448 p.

PRAKASH, S. et al. A critical analysis of supply chain risk management content: a structured literature review. **J. Adv. Manage. Res.**, v. 14, n. 1, p. 69-90, 2017. DOI: 10.1108/JAMR-10-2015-0073.

PRAKASH, S. et al. Prioritisation and assessment of collaboration decisions for supply chain with risk considerations using TOPSIS. **Int. J. of Adv. Oper. Manage.**, v. 8, n. 3, p. 168-184, 2016. DOI: 10.1504/IJAOM.2016.081302.

PRESSMAN, R.S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. Porto Alegre: AMGH, 7. ed., 2011.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do Trabalho Científico** [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale, 2. ed., 2013.

PULLMAN, M.E.; MALONI, M.J.; CARTER, C. R. Food for thought: social versus environmental sustainability practices and performance outcomes. **J. Supp. Chain Manage.**, v. 45, p. 38-54, 2009. DOI: 10.1111/j.1745-493X.2009.03175.x.

QUEIROZ, M.; TELLES, R.; BONILLA, S. Blockchain and supply chain management integration: a systematic review of the literature. **Supply Chain Manage.**, v. 25, n. 2, p. 241-254, 2019. DOI: 10.1108/SCM-03-2018-0143.

QUINTELLA, C.O.V.; DELGADO, F.; LIMA, L.M. (Eds.) Doing Business with the Brazilian Onshore Environment, **Cadernos FGV Energia**, MME, ano 7, n. 10, jun. 2020, 100 p. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/doing-business-brazilian-onshore-environment>> Acesso: 12 out. 2020.

RADIVOJEVIĆ, G.; GAJOVIĆ, V. Supply chain risk modeling by AHP and Fuzzy AHP methods. **J. of Risk Res.**, v. 17, n. 3, p. 337-352, 2014. DOI: 10.1080/13669877.2013.808689.

RAJAGOPAL, V.; SHANMUGAM, P.; GOH, M. Decision-making models for supply chain risk mitigation: A review. **Comput. Ind. Eng.**, v. 113, p. 646-682, 2017. DOI: 10.1016/j.cie.2017.09.043.

RAJESH, R. Social and environmental risk management in resilient supply chains: A periodical study by the Grey-Verhulst model. **Int. J. of Prod. Res.**, v. 57, n. 11, p. 3748-3765, 2019. DOI: 10.1080/00207543.2019.1566656.

RAMANATHAN, R. Supplier selection problem: Integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP. **Supply Chain Manage.**, v. 12, n. 4, p. 258-261, 2007. DOI: 10.1108/13598540710759772.

RANGEL, D.A.; OLIVEIRA, T.K.; LEITE, M.S.A. Supply chain risk classification: discussion and proposal. **Int. J. Prod. Res.**, v. 53, n. 22, p. 6868-6887, 2015. DOI: 10.1080/00207543.2014.910620.

- RAO, C. et al. Compound Mechanism Design of Supplier Selection Based on Multi-attribute Auction and Risk Management of Supply Chain. **Comput. Ind. Eng.**, v. 105, p. 63-75, 2017. DOI:10.1016/j.cie.2016.12.042.
- RAO, S.; GOLDSBY, T.J. Supply chain risks: a review and typology. **Int. J. Log. Manage.**, v. 20, n. 1, p. 97-123, 2009. DOI: 10.1108/09574090910954864.
- RAVINDRAN, A.R. et al. Risk Adjusted Multicriteria Supplier Selection Models with Applications. **Int. J. Prod. Res.**, v. 48, p. 405-424, 2010. DOI:10.1080/00207540903174940.
- REINER, G. Supply chain management research methodology using quantitative models based on empirical data. In: KOTZAB, H. *et al.* (Ed.). **Research methodologies in supply chain management**. Heidelberg: Physica - Verlag, 2005.
- REVILLA, E.; SAENZ, M. J. The impact of risk management on the frequency of supply chain disruptions: A configurational approach. **Int. J. of Op. & Prod. Manage.**, v. 37, n. 5, p. 557-576, 2017. DOI: 10.1108/IJOPM-03-2016-0129.
- REZAEI, J.; FAHIM, P.B.; TAVASSZY, L. Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP. **Exp. Syst. with App.**, v. 41, n. 18, p. 8165-8179, 2014. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.07.005.
- REZAEI, J.; ORTT, R. Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 225, p. 75-84, 2013. DOI:10.1016/j.ejor.2012.09.037.
- ROEHRICH, J.K.; GROSVOLD, J.; HOEJMOSE, S.U. Reputational risks and sustainable supply chain management: Decision making under bounded rationality. **Int. J. of Op. & Prod. Manage.**, v. 34, n. 5, p. 695-719, 2014. DOI: 10.1108/IJOPM-10-2012-0449.
- ROSTAMZADEH, R. et al. Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. **J. of Cleaner Prod.**, v. 175, p. 651-669, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.071.
- ROWLEY, J.; SLACK, F. Conducting a literature review. **Manage. Res. News**, v. 27, p. 31-39, 2004. DOI: 10.1108/01409170410784185.
- RUIZ-TORRES, A.J.; MAHMOODI, F.; ZENG, A.Z. Supplier Selection Model with Contingency Planning for Supplier Failures. **Comput. Ind. Eng.**, v. 66, p. 374-382, 2013. DOI:10.1016/j.cie.2013.06.021.
- SAATY, T.L. Decision making with the Analytic Hierarchy Process. **Int. J. of Serv. Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.
- SAATY, T.L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **Eur. J. of Op. Res.**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. DOI: 10.1016/0377-2217(90)90057-I.
- SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**: planning, priority, setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

SADIK, Z.A.; DATE, P.M.; MITRA, G. Forecasting crude oil futures prices using global macroeconomic news sentiment. **IMA J. of Manage. Math.**, v. 31, n. 2, p. 191-215, 2020. DOI: 10.1093/imaman/dpz011.

SAHU, N.K.; SAHU, A.K.; SAHU, A.K. Appraisal and benchmarking of third-party logistic service provider by exploration of risk-based approach. **Cogent Bus. & Manage.**, v. 2, n. 1, 2015. DOI: 10.1080/23311975.2015.1121637.

SAINI, R.; SAINI, S. Improvement in the Energy Supply Chain Risk Management of Oil and Petroleum Industries - using the concept of ANN embedded in SCM. **Int. J. of Appl. or Innov. in Enginee. & Manage.**, v. 3, n. 1, 2014. Disponível em: <<https://www.ijaiem.org/volume3issue1/IJAIEM-2014-01-09-020.pdf>> Acesso em: 10 jun. 2021.

SAKIB, N. et al. An assessment of probabilistic disaster in the oil and gas supply chain leveraging Bayesian belief network. **Int. J. of Prod. Econ.**, v. 235, p. 108107, 2021. DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108107.

SAMVEDI, A.; JAIN, V.; CHAN, F.T.S. Quantifying Risks in a Supply Chain through Integration of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. **Int. J. of Prod. Res.**, v. 51, p. 2433–2442, 2013. DOI: 10.1080/00207543.2012.741330.

SANDERS, N.R.; GANESHAN, R. Special issue of production and operations management on “Big Data in supply chain management”. **Prod. Oper. Manage.**, v. 24, n. 5, p. 519-520, 2015.

SANTOSO, T. et al. A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty. **Eur. J. Oper. Research**, v. 167, p. 96-115, 2005. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.01.046.

SAWIK, T. Joint Supplier Selection and Scheduling of Customer Orders under Disruption Risks: Single vs. Dual Sourcing. **Omega**, v. 43, p. 83-95, 2014. DOI:10.1016/j.omega.2013.06.007.

SCHMITT, A.J.; SINGH, M. A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 139, n. 1, p. 22-32, 2012. DOI: 10.1016/j.ijpe.2012.01.004.

SCHOENHERR, T., TUMMALA, V.M.R.; HARRISON, T.P. Assessing Supply Chain Risks with the Analytic Hierarchy Process: Providing Decision Support for the Offshoring Decision by a US Manufacturing Company. **J. of Purch. and Supply Manage.**, v. 14, n. 2, p. 100-111, 2008. DOI: 10.1016/j.pursup.2008.01.008.

SEBASTIANELLI, R.; TAMIMI, N. Antecedents of sustainable supply chain initiatives: Empirical evidence from the S&P 500. **Bus. Soc. Rev.**, v. 125, p. 3-22, 2020. DOI: 10.1111/basr.12191.

SEIFERT, R.W.; THONEMANN, U.W.; HAUSMAN, W.H. Optimal procurement strategies for online spot markets. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 152, n. 3, p. 781-799, 2004. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00754-3.

SEPTIANI, W. et al. Method and approach mapping for agri-food supply chain risk management: A literature review. **Supply Chain Manag.**, v. 5, n. 2, 2016. Disponível em: <<https://ojs.excelingtech.co.uk/index.php/IJSCM/article/view/1179>> Acesso em: 10 fev. 2020.

SEURING, S. A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. **Decis. Support Syst.**, v. 54, n. 4, p. 1513-1520, 2013. DOI: 10.1016/j.dss.2012.05.053.

SEURING, S. Case study research in supply chains - an outline and three examples. In: KOTZAB, H. et al. (Ed.). **Research methodologies in supply chain management**. Heidelberg: Physica - Verlag, 2005.

SEURING, S.; MÜLLER, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. **J. of Cleaner Prod.**, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.04.020.

SHAHBAZ, M.S.; RASI, R.Z.R.M.; AHMAD, M.D.F.B. A novel classification of supply chain risks: Scale development and validation. **J. of Ind. Enginee. and Manage.**, vol. 12, n. 1, p. 201-218, 2019. DOI: doi.org/10.3926/jiem.2792.

SHAPIRO, J.F. **Modeling the supply chain**. Belmont: South-Western, 2. ed., 2006.

SHARMA, S.K.; BHAT, A. Supply chain risk management dimensions in Indian automobile industry: A cluster analysis approach. **Benchmarking: An Int. J.**, v. 21, n. 6, p. 1023-1040, 2014. DOI: 10.1108/BIJ-02-2013-0023.

SHARMA, S.; ROUTROY, S. Modeling information risk in supply chain using Bayesian networks. **J. Enterp. Infor. Manage.**, v. 29, n. 2, p. 238-254, 2016. DOI: 10.1108/JEIM-03-2014-0031.

SHAVERDI, M. et al. Developing sustainable SCM evaluation model using fuzzy AHP in publishing industry. **Procedia Comp. Sci.**, v. 17, p. 340-349, 2013. DOI: 10.1016/j.procs.2013.05.044.

SHAW, K. et al. Global supplier selection considering sustainability and carbon footprint issue: AHP multi-objective fuzzy linear programming approach. **Int. J. of Op. Res.**, v. 17, n. 2, p. 215-247, 2013. DOI: 10.1504/IJOR.2013.053624.

SHEFFI, Y. Supply chain management under the threat of international terrorism. **Int. J. Log. Manag.**, v. 12, n. 2, p. 1-11, 2001. DOI: 10.1108/09574090110806262.

SHEMA, H. "What's wrong with citation analysis?" 2013. Disponível em: <<http://blogs.scientificamerican.com/information-culture/2013/01/01/whats-wrong-with-citation-analysis/>> Acesso em: 30 abr. 2020.

SHI, D. A review of enterprise supply chain risk management. **J. Syst. Sci. Syst. Eng.**, v. 13, p. 219-244, 2004. DOI: 10.1007/s11518-006-0162-2.

SIDOROVA, A. et al. Uncovering the intellectual core of the information systems discipline. **MIS Quarterly**, v. 32, n. 3, p. 467-482, 2008. DOI: 10.2307/25148852.

- SILVA, L.M.F. et al. Risk assessment model using conditional probability and simulation: case study in a piped gas supply chain in Brazil. **Int. J. of Prod. Res.**, v. 59, n. 10, p. 2960-2976, 2020. DOI: 10.1080/00207543.2020.1744764.
- SIMANGUNSONG, E.; HENDRY, L.C.; STEVENSON, M. Supply-chain uncertainty: a review and theoretical foundation for future research. **Int. J. Prod. Res.**, v. 50, n. 16, p. 4493-4523, 2012. DOI: 10.1080/00207543.2011.613864.
- SIMCHI-LEVI, D. The 6 forces driving supply chain design. **MIT Sloan Manage. Rev.**, v. 51, n. 2, p. 17-24, 2010.
- SIMIĆ, D. et al. 50 years of fuzzy set theory and models for supplier assessment and selection: A literature review. **J. of App. Logic**, v. 24, part A, p. 85-96, 2017. DOI: 10.1016/j.jal.2016.11.016.
- SIMON, H.A. **Models of bounded rationality**. Massachusetts: MIT Press, 1982, 504 p.
- SINGHAL, P.; AGARWAL, G.; MITTAL, M.L. Supply chain risk management: review, classification and future research directions. **Int. J. Bus. Sci. App. Manage.**, v. 6, n. 3, p. 15-42, 2011.
- SINHA, A.K. et al. Agent oriented petroleum supply chain coordination: Co-evolutionary Particle Swarm Optimization based approach. **Exp. Syst. with App.**, v. 38, n. 5, p. 6132-6145, 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.11.004.
- SINHA, P.R.; WHITMAN, L.E.; MALZAHN, D. Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain. **Supply Chain Manage.: An Int. J.**, v. 9, n. 2, p. 154-168, 2004. DOI: 10.1108/13598540410527051.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. Harlow: Pearson, 8. ed., 2016.
- SMALL, H. Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. **J. Am. Soc. Inform. Sci.**, v. 24, n. 4, p. 265-269, 1973.
- SMALL, H. Visualizing science by citation mapping. **J. Am. Soc. Inf. Sci. Tec.**, v. 50, n. 9, p. 799-813, 1999. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4571(1999)50:93.3.CO;2-7.
- SMELTZER, L.R.; SIFERD, S.P. Proactive Supply Management: The Management of Risk. **Int. J. Purch. Mater. Manag.**, v. 34, p. 38-45, 1998. DOI:10.1111/j.1745-493X.1998.tb00040.x.
- SNYDER, L.V. et al. OR/MS models for supply chain disruptions: a review. **IIE Trans.**, v. 48, n. 2, p. 89-109, 2016. DOI: 10.1080/0740817X.2015.1067735.
- SNYDER, L.V.; DASKIN, M.S.; TEO, C.P. The stochastic location model with risk pooling. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 179, n. 3, p. 1221-1238, 2007. DOI: 10.1016/j.ejor.2005.03.076.

SODHI, M.S.; SON, B.G.; TANG, C.S. Researchers' perspectives on supply chain risk management. **Prod. Oper. Manage.**, v. 21, p. 1-13, 2012. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2011.01251.x.

SOFYALIOĞLU, Ç.; KARTAL, B. The Selection of Global Supply Chain Risk Management Strategies by Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process - A Case from Turkey. *Procedia-Soc. and Beh. Sci.*, v. 58, 2012. DOI:10.1016/j.sbspro.2012.09.1131.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 9. ed., 2011.

SON, C.E. Supply Chain Risk Management: A Review of Thirteen Years of Research. **Amer. J. Ind. Bus. Manage.**, v. 8, 2294-2320, 2018. DOI: 10.4236/ajibm.2018.812154.

SONG, W.; MING, X.; LIU, H-C. Identifying critical risk factors of sustainable supply chain management: A rough strength-relation analysis method. *J. of Cleaner Prod.*, v. 143, p. 100-115, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.145.

STECKE, K.E.; KUMAR, S. Sources of Supply Chain Disruptions, Factors That Breed Vulnerability, and Mitigating Strategies. **J. Mark. Chann.**, v. 16, n. 3, p. 193-226, 2009. DOI: 10.1080/10466690902932551.

SYED, M.W. et al. An Empirical Examination of Sustainable Supply Chain Risk and Integration Practices: A Performance-Based Evidence from Pakistan. **Sustainability**, v. 11, p. 5334, 2019. DOI: 10.3390/su11195334.

TALLURI, S.; NARASIMHAN, R. Vendor Evaluation with Performance Variability: A Max-Min Approach. **Eur. J. of Op. Res.**, v. 146, n. 3, p. 543-552, 2003. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00230-8.

TALLURI, S.; NARASIMHAN, R.; NAIR, A. Vendor performance with supply risk: a chance-constrained dea approach. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 100, n. 2, p. 212-222, 2006. DOI: 10.1016/j.ijpe.2004.11.012.

TAN, K.H.; WONG, W.P.; CHUNG, L. Information and knowledge leakage in supply chain. **Inf. Syst. Frontiers**, v. 18, n. 3, p. 621-638, 2016. DOI: 10.1007/s10796-015-9553-6 TANG, C.S. Perspectives in supply chain risk management. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 103, n. 2, p. 451-488, 2006. DOI: 10.1016/j.ijpe.2005.12.006.

TANG, C.S.; TOMLIN, B. The power of flexibility for mitigating supply chain risks. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 116, n. 1, p. 12-27, 2008. DOI: 10.1016/j.ijpe.2008.07.008.

TANG, O.; MUSA, S.N. Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 133, p. 25-34, 2011. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.06.013.

TAZELAAR, F.; SNIJDERS, C. Operational risk assessments by supply chain professionals: process and performance. **J. of Op. Manage.**, v. 31, n. 1, p. 37-51, 2013. DOI: 10.1016/j.jom.2012.11.004.

TEUSCHER, P.; GRÜNINGER, B.; FERDINAND, N. Risk management in Sustainable Supply Chain Management (SSCM): Lessons learnt from the case of GMO-free soybeans. **Corp. Social Resp. and Env. Manage.**, v. 13, p. 1-10, 2006. DOI: 10.1002/csr.81.

THE ASSOCIATION OF BUSINESS SCHOOLS. **The Academic Journal Guide 2018**. Disponível em: <<https://charteredabs.org/academic-journal-guide-2018-view/>> Acesso em: 15 abr. 2020.

TIAN, J.; YAN, Z.F. Fuzzy Analytic Hierarchy Process for Risk Assessment to General-assembling of Satellite. **J. of App. Res. and Tech.**, v. 11, n. 4, p. 568-577, 2013. DOI: 10.1016/S1665-6423(13)71564-5.

TOMAS, R.N.; ALCANTARA, R.L.C. Models for risk management in supply chains: review, analysis, and guidelines for research. **Gest. & Prod.**, v. 20, n. 3, p. 695-712, 2013. DOI: 10.1590/S0104-530X2013000300014.

TOMLIN, B. On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks. **Manage. Sci.**, v. 52, p. 639-657, 2006. DOI: 10.1287/mnsc.1060.0515.

TRAN, T. H.; DOBROVNIK, M.; KUMMER, S. Supply chain risk assessment: a content analysis-based literature review. **Int. J. of Log. Syst. Manage.**, v. 31, n. 4, p. 562-591, 2018. DOI: 10.1504/IJLSM.2018.096088.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **Brit. J. Manage.**, v. 14, p. 207-222, 2003. DOI: 10.1111/1467-8551.00375.

TSAI, C.Y. On Supply Chain Cash Flow Risks. **Dec. Supp. Syst.**, v. 44, n. 4, p. 1031-1042, 2008. DOI: 10.1016/j.dss.2007.12.006.

TSAUR, S.-H.; CHANG, T.-Y.; YEN, C.-H. The evaluation of airline service quality by Fuzzy MCDM. **Tour. Manage.**, v. 23, n. 2, p. 107-115, 2002. DOI: 10.1016/S0261-5177(01)00050-4.

TSE, Y.K. et al. Quality risk in global supply network. **J. of Manuf. Tech. Manage.**, v. 22, p. 1002-1013, 2011.

TUKAMUHABWA, B.R. et al. Supply chain resilience: definition, review and theoretical foundations for further study. **Int. J. Prod. Res.**, v. 53, n. 18, p. 5592-5623, 2015. DOI: 10.1080/00207543.2015.1037934.

TUMMALA, R.; SCHOENHERR, T. Assessing and managing risks using the supply chain risk management process [SCRMP]. **Supply Chain Manage.: An Int. J.**, v. 16, n. 6, p. 474-483, 2011. DOI: 10.1108/13598541111171165.

TUNCEL, G.; ALPAN, G. Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. **Comput. Ind.**, v. 61, n. 3, p. 250-259, 2010. DOI: 10.1016/j.compind.2009.09.008.

VAIDYA, O.S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **Eur. J. of Op. Res.**, v. 169, n. 1, p. 1-29, 2006. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.04.028.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. **Manual for VOSviewer version 1.6.6**. Universiteit Leiden and Erasmus Universiteit Rotterdam, 2017.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. Visualizing bibliometric networks. In: DING, Y.; ROUSSEAU, R.; WOLFRAM, D. (Eds.). **Measuring scholarly impact: Methods and practice**, p. 285-320. Suíça: Springer, 2014. DOI: 10.1007/978-3-319-10377-8_13.

VAN LAARHOVEN, P.; PEDRYCZ, W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. **Fuzzy Sets Syst.**, v. 11, p. 199-227, 1983. DOI:10.1016/S0165-0114(83)80082-7.

VANANY, I.; ZAILANI, S.; PUJAWAN, N. Supply Chain Risk Management: Literature Review and Future Research. **Int. J. Infor. Syst. Supply Chain Manage.**, v. 2, p. 16-33, 2009. DOI: 10.4018/jisscm.2009010102.

VENKATESH, V.G.; RATHI, S.; PATWA, S. Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using Interpretive structural modeling. **J. Retailing Consum. Serv.**, v. 26, p. 153-167, 2015. DOI: 10.1016/j.jretconser.2015.06.001.

VISHWAKARMA V.; PRAKASH, C.; BARUA, M.K. A fuzzy-based multi criteria decision making approach for supply chain risk assessment in Indian pharmaceutical industry. **Int. J. of Log. Syst. and Manage.**, v. 25, n. 2, p. 245, 2016. DOI: 10.1504/ijlsm.2016.078915.

VISHWAKARMA V.; PRAKASH, C.; BARUA, M.K. Modeling the barriers of Indian Pharmaceutical Supply Chain using fuzzy AHP. **Int. J. of Oper. Res.**, v. 34, n. 2, p. 240-268, 2019. DOI: 10.1504/IJOR.2019.097578.

VISWANADHAM, N.; SAMVEDI, A. Supplier Selection Based on Supply Chain Ecosystem, Performance and Risk Criteria. **Int. J. Prod. Res.**, v. 51, p. 6484-6498, 2013. DOI:10.1080/00207543.2013.825056.

WAGNER, S.M.; NESHAT, N. Assessing the Vulnerability of Supply Chains Using Graph Theory. **Int. J. of Prod. Econ.**, v. 126, n. 1, p. 121-129, 2010. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.10.007.

WAGNER, S.M.; BODE, C. An Empirical Examination of Supply Chain Performance Along Several Dimensions of Risk. **J. Bus. Logist.**, v. 29, p. 307-325, 2008. DOI: 10.1002/j.2158-1592.2008.tb00081.x.

WANG, C.X.; WEBSTER, S. Channel coordination for a supply chain with a risk-neutral manufacturer and a loss-averse retailer. **Decision Sci.**, v. 38, p. 361-389, 2007. DOI:10.1111/j.1540-5915.2007.00163.x.

WANG, J.; SHU, Y.F. Fuzzy decision modeling for supply chain management. **Fuzzy Set. Syst.**, v. 150, p. 107-127, 2005. DOI: 10.1016/j.fss.2004.07.005.

WANG, X. et al. A two-stage fuzzy-AHP model for risk assessment of implementing green initiatives in the fashion supply chain. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 135, n. 2, p. 595-606, 2012. DOI: 10.1016/j.ijpe.2011.03.021.

WANG, X.; LI, D.; SHI, X. A fuzzy model for aggregative food safety risk assessment in food supply chains. **Prod. Plan. & Control**, v. 23, n. 5, p. 377-395, 2012. DOI: 10.1080/09537287.2011.561812.

WANG, Y.-M.; LUO, Y.; HUA, Z. On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. **Eur. J. of Oper. Res.**, v. 186, n. 2, p. 735-747, 2008. DOI: 10.1016/j.ejor.2007.01.050.

WEC - WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Issues Monitor 2021: Humanising energy**. London, 2021. 51 p. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Issues_Monitor_2021-final.pdf> Acesso em: 20 maio 2021.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. **15th The Global Risks Report**. 2020. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf> Acesso em: 15 jul. 2020.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. **16th The Global Risks Report**. 2021. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf> Acesso em: 12 fev. 2021.

WILLIAMS, Z.; LUEG, J.E.; LEMAY, S.A. Supply chain security: an overview and research agenda. **Int. J. Log. Manage.**, v. 19, n. 2, p. 254-281, 2008. DOI: 10.1108/09574090810895988.

WILSON, C. **Brainstorming and Beyond: a user-centered design method**. Oxford: Morgan Kaufmann, 2013.

WU, D.D. et al. Fuzzy multi-objective programming for supplier selection and risk modeling: A possibility approach. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 200, n. 3, p. 774-787, 2010. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.01.026.

WU, D.D.; OLSON, D. Enterprise Risk Management: A DEA VaR Approach in Vendor Selection. **Int. J. Prod. Res.**, v. 48, p. 4919-4932, 2010. DOI:10.1080/00207540903051684.

WU, K.-J. et al. Toward sustainability: using big data to explore the decisive attributes of supply chain risks and uncertainties. **J. of Cleaner Prod.**, v. 142, part 2, p. 663-676, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.040.

WU, T.; BLACKHURST, J.; CHIDAMBARAM, V. A model for inbound supply risk analysis. **Comput. Ind.**, v. 57, n. 4, p. 350-365, 2006. DOI: 10.1016/j.compind.2005.11.001.

WU, Z.; CHOI, T.Y.; RUNGTUSANATHAM, M.J. Supplier-supplier Relationships in Buyer-supplier-supplier Triads: Implications for Supplier Performance. **J. Oper. Manag.**, v. 28, p. 115-123, 2010. DOI:10.1016/j.jom.2009.09.002.

XU, G. et al. Coordinating a dual-channel supply chain with risk-averse under a two-way revenue sharing contract. **Int. J. Prod. Econ.**, v. 147 (PART A), p. 171-179, 2014. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.09.012.

XU, M. et al. Supply chain sustainability risk and assessment. **J. of Cleaner Prod.**, v. 225, p. 857-867, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.307.

YADAV, V.; SHARMA, M.K. Multi-criteria decision making for supplier selection using fuzzy AHP approach. **Benchmarking: An Int. J.**, v. 2, n. 6, p. 1158-1174, 2015. DOI: 10.1108/BIJ-04-2014-0036.

YAZDANI, M. et al. A risk-based integrated decision-making model for green supplier selection: A case study of a construction company in Spain. **Kybernetes**, v. 49, p. 1229-1252, 2019. DOI:10.1108/K-09-2018-0509.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 5. ed., 2014, 320 p.

YOON, J. et al. Models for supplier selection and risk mitigation: a holistic approach. **Int. J. of Prod. Res.**, v. 56, n. 10, p. 3636-3661, 2018. DOI: 10.1080/00207543.2017.1403056.

YOU, F.; Grossmann, I.E. Design of responsive supply chains under demand uncertainty. **Comput. Chem. Eng.**, v. 32, n. 12, p. 3090-3111, 2008. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2008.05.004.

YU, M.C., GOH, M.; LIN, H.C. Fuzzy multi-objective vendor selection under lean procurement. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 219, p. 305-311, 2012. DOI:10.1016/j.ejor.2011.12.028.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Inform. and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.

ZANJIRCHI, S.M.; JALILIAN, N.; MIRHOSEINI, A. Risk-agility interactive model: a new look at agility drivers. **J. of Model. in Manage.**, v. 12, n. 4, p. 690-711, 2017. DOI: 10.1108/JM2-01-2016-0007

ZAPA, E.; COGOLLO, J. Fuzzy-BSC Methodology for Decision Making in Indemnity Area of Insurance Companies. **IEEE Latam Trans.**, v. 16, p. 2539-2546, 2018. DOI:10.1109/TLA.2018.8795133.

ZHONG, R.Y. et al. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017. DOI: 10.1016/J.ENG.2017.05.015.

ZHU, Q.; KRIKKE, H.; CANIËLS, M.C.J. Integrated supply chain risk management: a systematic review. **Int. J. Log. Manage.**, v. 28, n. 4, p. 1123-1141, 2017. DOI: 10.1108/IJLM-09-2016-0206.

ZIMMER, K. et al. Assessing social risks of global supply chains: A quantitative analytical approach and its application to supplier selection in the German automotive industry. **J. Clean. Prod.**, v. 149, p. 96-109, 2017. DOI:10.1016/j.jclepro.2017.02.041.

ZIMMER, K.; FRÖHLING, M.; SCHULTMANN, F. Sustainable supplier management - A review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. **Int. J. Prod. Res.**, v. 54, p. 1412-1442, 2016. DOI:10.1080/00207543.2015.1079340.

ZSIDISIN, G.A. A Grounded Definition of Supply Risk. **J. Purch. Supply Manag.**, v. 9, p. 217-224, 2003. DOI: 10.1016/j.pursup.2003.07.002.

ZSIDISIN, G.A.; ELLRAM, L.M. An Agency Theory Investigation of Supply Risk Management. **The J. of Supply Chain Manage.**, v. 39, n. 2, p. 15-27, 2003. DOI: 10.1111/j.1745-493X.2003.tb00156.x.

ZSIDISIN, G.A.; ELLRAM, L.M. Supply risk assessment analysis. **Practix, Best Pract. in Purch. and Supp. Chain Manage.**, p. 9-12, 1999.

ZSIDISIN, G.A. et al. An analysis of supply risk assessment techniques. **Int. J. Phys. Distr. Log.**, v. 34, n. 5, p. 397-413, 2004. DOI: 10.1108/09600030410545445.

ZSIDISIN, G.A.; RITCHIE, B. **Supply Chain Risk**. Suíça: Springer, 2010, 350 p.

ZUPIC, I.; CATER, T. Bibliometric methods in management and organization. **Organ. Res. Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015. DOI: 10.1177/1094428114562629.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Partes dos códigos de programação, em linguagem MATLAB®, dos três módulos da ferramenta computacional

Módulo 1: parte do código de programação em linguagem MATLAB® - sistema computacional FEAHP [*software* HAZE]

```
function [fim] = functQuestioInic(nome_da_planilha)
%-----Inserir dados do problema-----
qtdcriterios=xlsread(nome_da_planilha,'D1:D1'); %matriz questionário
controle=qtdcriterios-1;
tamanho_da_matriz=0;
while(controle>=1)
    tamanho_da_matriz=tamanho_da_matriz+controle;
    controle=controle-1;
end
tamanho_da_matriz %retorna a quantidade de linhas necessárias para o questionário
iou= 'B2:J';
opk=sprintf('%s%d',iou,tamanho_da_matriz+1);
comando= ['Matriz_Questionario = xlsread(nome_da_planilha,opk) ']; %matriz questionário
eval(comando);
%----- Gerar a matriz resposta do questionário-----
Matriz_comparacao_pareada=eye(qtdcriterios);
linha_contagem_tabela=1;
for linha = 1:1:qtdcriterios
for coluna= 1:1:qtdcriterios
    if(linha~=coluna) && (coluna>linha)
        mat={linha coluna linha_contagem_tabela}; %Apenas para verificar a ordem das matrizes
```

Fonte: desenvolvido pelo autor no MATLAB®, versão R2020a, The MathWorks, Inc. (2021).

Módulo 2: parte do código de programação em linguagem MATLAB® - sistema computacional FEAHP [*software* HAZE]

```
%function [ output_args ] = Untitled2( input_args )  
function [fim] = functMultiPesos(MatrizParaCalcular)  
[num_linhas,num_coluna] = size(MatrizParaCalcular);  
fim=zeros(num_linhas-1,1);  
for linha = 1:1:num_linhas-1  
    for coluna = 1:1:num_coluna  
        fim(linha,1)= fim(linha,1) + MatrizParaCalcular(1,coluna)*MatrizParaCalcular(linha+1,coluna);  
    end  
end  
end
```

Fonte: desenvolvido pelo autor no MATLAB®, versão R2020a, The MathWorks, Inc. (2021).

Módulo 3: parte do código de programação em linguagem MATLAB® - sistema computacional FEAHP [*software* HAZE]

```
%-----Inserir dados do problema-----
%Nivel 1 = Goal = Objetivo
%Nivel 2 = Criterios
%Nivel 3 = Subcriterios
%Nivel 4 = Alternativas
%fim_nivel_2 = input('Digite o numero da ultima tabela do nivel 2:\n');
fim_nivel_2 = 11; %Habilita aqui, apenas para testar
%fim_nivel_3 = input('Digite o numero da ultima tabela do nivel 3:\n');
fim_nivel_3 = 57; %Habilita aqui, apenas para testar
%qtd_alternativas = input('Digite a quantidade de alternativas do nivel 4:\n');
qtd_alternativas = 3; %Habilita aqui, apenas para testar
qtd_familias = fim_nivel_2-1;
contadordefamilias=0;
for variafamilias = 1:1:qtd_familias-1
comando1= ['qtdfamilia = input('Digite a quantidade de subcriterios na familia ' num2str(variafamilias) '\n');'];
eval(comando1);
comando= ['qtd_criterio_familia_' num2str(variafamilias) '=qtdfamilia;'];
eval(comando);
contadordefamilias = contadordefamilias+qtdfamilia;
end
comando= ['qtd_criterio_familia_' num2str(variafamilias+1) '=(fim_nivel_3-fim_nivel_2)-contadordefamilias;'];
eval(comando);
```

Fonte: desenvolvido pelo autor no MATLAB®, versão R2020a, The MathWorks, Inc. (2021).

APÊNDICE B - Partes do formulário da entrevista do estudo de casos múltiplos



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL



Seção 1 de 12

Pesquisa sobre a "Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos de Petróleo e Gás Natural Onshore do Brasil"

As cadeias de suprimentos globais estão cada vez mais complexas e vulneráveis a interrupções que impedem o fluxo de bens, recursos e capital, gerando reações críticas da sociedade. Na maioria dos casos, essas interrupções são devidas a riscos naturais, causados pelo homem ou por fontes diversas de incertezas. Como um exemplo dramático, temos a pandemia do coronavírus (COVID-19), iniciada em 2019, que afetou severamente as operações, as finanças e o trabalho nas empresas, destacando a necessidade de planos eficazes de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos.

É neste contexto que apresentamos a pesquisa acadêmica sobre a "Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos de Petróleo e Gás Natural Onshore do Brasil", desenvolvida pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia (PEI/UFBA). Convidamos a sua empresa a participar dessa pesquisa com a identificação e avaliação dos principais riscos que afetam a cadeia de suprimentos. Inicialmente, a sua empresa deve responder à entrevista semiestruturada a seguir, conforme as seguintes orientações/observações:

1. a empresa deve indicar um "gestor correspondente" como responsável pela entrevista, a qual tem uma duração média de cerca de 30 minutos. O formulário da entrevista contém perguntas de 10 "tipos de riscos" típicos e sustentáveis da cadeia de suprimentos (risco catastrófico e internacional, risco de fornecimento, risco de produção, risco de demanda, risco de transporte, risco financeiro, risco ambiental, etc.);
2. os "tipos de riscos" se relacionam, direta ou indiretamente, com determinados setores e/ou departamentos da empresa. Assim, recomenda-se consultar os tomadores de decisão da empresa atuantes nas respectivas áreas de abrangência dos riscos, como: decisores de compras, decisores de produção e operação, decisores de mercado, decisores de transporte e logística, decisores de finanças, decisores de meio ambiente, etc.;
3. as alternativas das perguntas dos "tipos de riscos" são os "fatores de riscos". Esses "fatores de riscos" foram elencados após exaustiva pesquisa na literatura científica especializada. Eles são numerosos e abrangem os riscos mais comuns às cadeias de suprimentos em geral. Portanto, a sua empresa deve identificar somente os "fatores de riscos" que são mais evidentes na sua cadeia de suprimentos de petróleo e gás natural, considerando a "probabilidade de ocorrência" e o "impacto/consequência";
4. se necessário, a empresa também pode informar "outros fatores de riscos", além daqueles elencados no formulário, que são específicos à realidade da sua cadeia de suprimentos.

Por fim, ressaltamos que os dados obtidos nessa pesquisa serão tratados de modo sigiloso e anônimo, omitindo-se quaisquer informações que identifiquem as empresas participantes e os seus colaboradores. Um relatório final da pesquisa será disponibilizado às empresas participantes.

Em caso de dúvidas, favor contatar o pesquisador responsável pelo e-mail: marcus@uesb.edu.br

Agradecemos pela compreensão e colaboração!

Atenciosamente,

Prof. M.Sc. Marcus Vinicius C. Fagundes
Prof. Dr. Silvio A. B. Vieira de Melo
Prof. Dr. Francisco Gaudêncio M. Freires
Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial (PEI)
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Qual o nome da empresa? *

Texto de resposta curta

Qual a função ou cargo do "gestor correspondente" na empresa (responsável por responder a pesquisa)? *

Texto de resposta curta

Qual o tempo de trabalho do "gestor correspondente" na empresa? *

- Menos de 2 anos
- 2,1 a 5 anos
- 5,1 a 10 anos
- 10,1 a 15 anos
- Mais de 15,1 anos

Seção 2 de 12

C1 - Identificação de Risco Catastrófico e Internacional

Descrição (opcional)

Qual(is) "fator(es) de risco catastrófico e internacional" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) de risco na opção "outro") *

- Desastre natural (furacões, terremotos, inundações, tempestades, seca, etc.)
- Guerra e terrorismo
- Acidentes com incêndios
- Instabilidade política (desordem e tensão política, corrupção, etc.)
- Instabilidade econômica (flutuações econômicas ou recessão)

Seção 3 de 12

C2 - Identificação de Risco de Fornecimento



Descrição (opcional)

Qual(is) "fator(es) de risco de fornecimento" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) de risco na opção "outro") *

- Incapacidade de lidar com mudanças na demanda
- Incapacidade de sobretensão de fornecimento (aumento repentino de demanda)
- Inflexibilidade de operação e entrega do fornecedor
- Plano de compras ineficiente que prejudica o fornecimento adequado
- Falta de contrato com fornecedores de produtos e/ou serviços
- Fornecimento de produtos sem documentação ou qualidade

Seção 4 de 12

C3 - Identificação de Risco de Produção



Descrição (opcional)



Qual(is) "fator(es) de risco de produção" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) de risco na opção "outro") *

- Litígios e greves trabalhistas
- Acidentes com funcionários (lesão ou morte)
- Doenças dos funcionários que ocasionam interrupção no trabalho
- Alta rotatividade de funcionários
- Funcionários ineficientes ou não qualificados
- Funcionários resistentes à mudança/adaptação
- Ausência eventual ou frequente do funcionário

Seção 5 de 12

C4 - Identificação de Risco de Demanda



Descrição (opcional)

Qual(is) "fator(es) de risco de demanda" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos * de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) na opção "outro")

- Previsões de demanda imprecisas
- Erros graves de previsão que impactam o fluxo de caixa, produção, estoque e vendas
- Distorção das informações de demanda na cadeia de suprimentos (efeito chicote)
- Incerteza/imprevisibilidade de demanda
- Picos de demanda repentina
- Variabilidade da demanda
- Falta ou falha de segmentação de clientes (geográfica, demográfica, etc.)

Seção 6 de 12

C5 - Identificação de Risco de Transporte



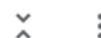
Descrição (opcional)

Qual(is) "fator(es) de risco de transporte" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos * de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) na opção "outro")

- Manuseio excessivo de carga
- Falta de eficácia ou atraso na saída do transporte de entrega
- Fragmentação dos provedores de transporte
- Nenhuma alternativa de transporte disponível
- Rede de transporte complexa
- Falhas de entrega dentro do prazo e orçamento
- Danos e acidentes de transporte

Seção 7 de 12

C6 - Identificação de Risco Financeiro



Descrição (opcional)

Qual(is) "fator(es) de risco financeiro" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) na opção "outro") *

- Flutuações de taxa de câmbio da moeda (ex.: real x dólar)
- Flutuações de preço dos produtos e/ou serviços
- Nível de taxa de juros
- Mudanças salariais (funcionários, terceirizados, etc.)
- Falta de solidez financeira dos clientes
- Falhas na captação de recursos financeiros
- Alto custo do produto

Seção 8 de 12

C7 - Identificação de Risco de Informação



Descrição (opcional)

Qual(is) "fator(es) de risco de informação" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) na opção "outro") *

- Ameaças físicas à infraestrutura de informações e TI
- Falhas de integração de sistemas ou rede de sistemas (ex.: ERP, CRM, EDI, etc.)
- Pane cibernética (ruptura e quebra de sistemas e TI)
- Comércio eletrônico (vulnerabilidades de transação entre empresas e clientes)
- Atrasos na informação que acarretam perdas de clientes ou reputação
- Falta de transparência das informações entre logística e marketing
- Segurança da Internet (vulnerabilidades em transações diversas)

Seção 9 de 12

C8 - Identificação de Risco de Sustentabilidade Ambiental



Descrição (opcional)

Qual(is) "fator(es) de risco de sustentabilidade ambiental" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) na opção "outro") *

- Consumo ineficiente de energia
- Acidentes ambientais (causados por operações, máquinas ou funcionários)
- Emissão de gases de efeito estufa
- Não conformidade ambiental da empresa
- Poluição (causada pelas operações e/ou produtos da empresa)
- Desperdício excessivo de produtos (na fabricação ou transporte)

Seção 10 de 12

C9 - Identificação de Risco de Sustentabilidade Social



Descrição (opcional)

Qual(is) "fator(es) de risco de sustentabilidade social" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) na opção "outro") *

- Trabalho infantil
- Trabalho forçado (mediante ameaça ou escravidão)
- Discriminação de um indivíduo ou empresa
- Ambiente de trabalho insalubre ou perigoso aos funcionários
- Tratamento desumano, assédio moral ou sexual dos funcionários
- Desrespeito aos direitos de funcionários e/ou salários injustos

Seção 11 de 12

C10 - Identificação de Risco de Sustentabilidade Econômica



Descrição (opcional)



Qual(is) "fator(es) de risco de sustentabilidade econômica" é(são) mais evidente(s) para a sua empresa, em termos de probabilidade de ocorrência e impacto ou consequência? (marque quantas alternativas achar necessário; se pertinente, escreva mais algum(ns) fator(es) na opção "outro") *

- Reivindicações antitruste contra uma empresa que viola as leis da livre concorrência
- Suborno ou corrupção entre membros da cadeia de suprimentos
- Declarações falsas ou desonestidade de pessoas/empresas para garantir ganhos injustos/ilegais
- Conspiração para fixação de preços entre vendedores ou compradores
- Evasão fiscal
- Boicotes a empresas da cadeia de suprimentos (por razões sociais, morais ou políticas)

Seção 12 de 12

Sobre as Políticas, Estratégias e Ações de Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos da Empresa



Descrição (opcional)

A sua empresa possui políticas, estratégias ou ações institucionalizadas para Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos (identificação, avaliação, mitigação e controle de riscos)? *

- Sim
- Não

A sua empresa está desenvolvendo ou implementou alguma(s) política(s), estratégia(s) ou ação(ões) para mitigar os riscos ou se recuperar dos impactos operacionais, financeiros e nas pessoas provocados pela pandemia do coronavírus (COVID-19)? *

- Sim

Não

Comentários, sugestões ou críticas a esta pesquisa.

Texto de resposta longa

Fonte: desenvolvido pelo autor no Google Forms[®], Google LLC (2021).

APÊNDICE C - Partes do questionário de comparação pareada do estudo de casos múltiplos

Critérios do Objetivo Geral: ‘probabilidade de ocorrência’ de um tipo de risco sobre o outro

Pesquisa sobre a "Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos de Petróleo e Gás Natural Onshore do Brasil"

Avaliação Comparativa Pareada dos Principais Riscos Típicos e Relacionados à Sustentabilidade da Cadeia de Suprimentos

Este questionário foi projetado para facilitar a comparação de tipos de risco (critérios), fatores de risco (subcritérios) e graus de risco (alternativas). Por exemplo, se o "tipo de risco" do lado esquerdo é mais importante do que o do lado direito, o respondente deverá digitar "1" no respectivo espaço que melhor representa a sua percepção.

Ativar Tela Cheia

Desativar Tela Cheia

Tipo de Risco	Probabilidade de ocorrência de um tipo de risco sobre o outro								Tipo de Risco	
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte		Extremamente forte
Risco catastrófico e internacional										Risco de fornecimento
Risco catastrófico e internacional										Risco de produção
Risco catastrófico e internacional										Risco de demanda
Risco catastrófico e internacional										Risco de transporte
Risco catastrófico e internacional										Risco financeiro
Risco catastrófico e internacional										Risco de informação
Risco catastrófico e internacional										Risco ambiental
Risco catastrófico e internacional										Risco social
Risco catastrófico e internacional										Risco econômico

Critérios do Objetivo Geral: ‘impacto ou consequência’ de um tipo de risco sobre o outro

Pesquisa sobre a "Avaliação de Riscos da Cadeia de Suprimentos de Petróleo e Gás Natural Onshore do Brasil"
 Avaliação Comparativa Pareada dos Principais Riscos Típicos e Relacionados à Sustentabilidade da Cadeia de Suprimentos

Este questionário foi projetado para facilitar a comparação de tipos de risco (critérios), fatores de risco (subcritérios) e graus de risco (alternativas). Por exemplo, se o "tipo de risco" do lado esquerdo é mais importante do que o do lado direito, o respondente deverá digitar "1" no respectivo espaço que melhor representa a sua percepção.

Tipo de Risco	Impacto ou consequência de um tipo de risco sobre o outro									Tipo de Risco
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Risco catastrófico e internacional										Risco de fornecimento
Risco catastrófico e internacional										Risco de produção
Risco catastrófico e internacional										Risco de demanda
Risco catastrófico e internacional										Risco de transporte
Risco catastrófico e internacional										Risco financeiro
Risco catastrófico e internacional										Risco de informação
Risco catastrófico e internacional										Risco ambiental
Risco catastrófico e internacional										Risco social
Risco catastrófico e internacional										Risco econômico

Ativar Tela Cheia

Desativar Tela Cheia

Fonte: desenvolvido pelo autor no MS Excel®, Office for Mac, versão 16.28 (19081202), Microsoft Corporation (2021).

Subcritérios dos Critérios: ‘probabilidade de ocorrência’ de um fator de risco sobre o outro

Neste passo, o respondente deverá seguir a mesma lógica de resposta anterior. Por exemplo, se o "fator de risco" do lado esquerdo é mais importante do que o do lado direito, o respondente deverá digitar o número "1" no respectivo espaço que melhor representa a sua percepção.

Fatores de Risco Catastrófico e Internacional	Probabilidade de ocorrência de um fator de risco sobre o outro									Fatores de Risco Catastrófico e Internacional
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Acidentes com incêndios										Instabilidade econômica
Acidentes com incêndios										Regulamentos governamentais
Acidentes com incêndios										Epidemias e pandemias
Acidentes com incêndios										Preços de commodities
Instabilidade econômica										Regulamentos governamentais
Instabilidade econômica										Epidemias e pandemias
Instabilidade econômica										Preços de commodities
Regulamentos governamentais										Epidemias e pandemias
Regulamentos governamentais										Preços de commodities
Epidemias e pandemias										Preços de commodities

Fatores de Risco de Fornecimento	Probabilidade de ocorrência de um fator de risco sobre o outro									Fatores de Risco de Fornecimento
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Falha em atender requisitos de entrega										Não é possível fornecer preços competitivos
Falha em atender requisitos de entrega										Fornecimento único

► Principais riscos identificados | 1. Critérios x Objetivo Geral | **2. Subcritérios x Critérios** | 3. Alternativas x Subcritérios | 4. Legenda de códigos | +

Ativar Tela Cheia

Desativar Tela Cheia

Fonte: desenvolvido pelo autor no MS Excel®, Office for Mac, versão 16.28 (19081202), Microsoft Corporation (2021).

Subcritérios dos Critérios: ‘impacto ou consequência’ de um fator de risco sobre o outro

Neste passo, o respondente deverá seguir a mesma lógica de resposta anterior. Por exemplo, se o "fator de risco" do lado esquerdo é mais importante do que o do lado direito, o respondente deverá digitar o número "1" no respectivo espaço que melhor representa a sua percepção.

Fatores de Risco Catastrófico e Internacional	Impacto/consequência de um fator de risco sobre o outro									Fatores de Risco Catastrófico e Internacional
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Acidentes com incêndios										Instabilidade econômica
Acidentes com incêndios										Regulamentos governamentais
Acidentes com incêndios										Epidemias e pandemias
Acidentes com incêndios										Preços de commodities
Instabilidade econômica										Regulamentos governamentais
Instabilidade econômica										Epidemias e pandemias
Instabilidade econômica										Preços de commodities
Regulamentos governamentais										Epidemias e pandemias
Regulamentos governamentais										Preços de commodities
Epidemias e pandemias										Preços de commodities

Fatores de Risco de Fornecimento	Impacto/consequência de um fator de risco sobre o outro									Fatores de Risco de Fornecimento
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Falha em atender requisitos de entrega										Não é possível fornecer preços competitivos
Falha em atender requisitos de entrega										Fornecimento único

► Principais riscos identificados | 1. Critérios x Objetivo Geral | **2. Subcritérios x Critérios** | 3. Alternativas x Subcritérios | 4. Legenda de códigos | +

Ativar Tela Cheia

Desativar Tela Cheia

Fonte: desenvolvido pelo autor no MS Excel®, Office for Mac, versão 16.28 (19081202), Microsoft Corporation (2021).

Alternativas dos Subcritérios: ‘probabilidade de ocorrência’ de um grau de risco sobre o outro

Por fim, seguindo a mesma lógica das respostas anteriores, aqui o respondente deverá avaliar o grau de risco. Por exemplo, se o "grau de risco" do lado esquerdo é mais importante do que o do lado direito, o respondente deverá digitar o número "1" no espaço que melhor representa a sua percepção.

Acidentes com incêndios	Probabilidade de ocorrência de um grau de risco sobre o outro									Acidentes com incêndios
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Baixo										Médio
Baixo										Alto
Médio										Alto

Instabilidade econômica	Probabilidade de ocorrência de um grau de risco sobre o outro									Instabilidade econômica
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Baixo										Médio
Baixo										Alto
Médio										Alto

Regulamentos governamentais	Probabilidade de ocorrência de um grau de risco sobre o outro									Regulamentos governamentais
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Baixo										Médio
Baixo										Alto
Médio										Alto

Fonte: desenvolvido pelo autor no MS Excel®, Office for Mac, versão 16.28 (19081202), Microsoft Corporation (2021).

Ativar Tela Cheia

Desativar Tela Cheia

Alternativas dos Subcritérios: ‘impacto/consequência’ de um grau de risco sobre o outro

Por fim, seguindo a mesma lógica das respostas anteriores, aqui o respondente deverá avaliar o grau de risco. Por exemplo, se o "grau de risco" do lado esquerdo é mais importante do que o do lado direito, o respondente deverá digitar o número "1" no espaço que melhor representa a sua percepção.

Acidentes com incêndios	Impacto/consequência de um grau de risco sobre o outro									Acidentes com incêndios
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Baixo										Médio
Baixo										Alto
Médio										Alto

Instabilidade econômica	Impacto/consequência de um grau de risco sobre o outro									Instabilidade econômica
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Baixo										Médio
Baixo										Alto
Médio										Alto

Regulamentos governamentais	Impacto/consequência de um grau de risco sobre o outro									Regulamentos governamentais
	Extremamente forte	Muito forte	Forte	Não muito forte	Igual	Não muito forte	Forte	Muito forte	Extremamente forte	
Baixo										Médio
Baixo										Alto
Médio										Alto

Principais riscos identificados	1. Critérios x Objetivo Geral	2. Subcritérios x Critérios	3. Alternativas x Subcritérios	4. Legenda de códigos	+
---------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------	-----------------------	---

Ativar Tela Cheia

Desativar Tela Cheia

Fonte: desenvolvido pelo autor no MS Excel®, Office for Mac, versão 16.28 (19081202), Microsoft Corporation (2021).

APÊNDICE D - Classificação holística dos riscos da cadeia de suprimentos: definição e autores

Riscos típicos da cadeia de suprimentos				
Código	Tipo de risco	Código	Fator de risco	Autores
C ₁	Risco catastrófico e internacional	S ₁	Desastre natural	AQLAN; LAM, 2016; CHOPRA; SODHI, 2004; CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006; LAVASTRE; GUNASEKARAN; SPALANZANI, 2014; REVILLA; SAENZ, 2017; SAMVEDI; JAIN; CHAN, 2013; SCHOENHERR; TUMMALA; HARRISON, 2008; SHEFFI, 2001; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006
		S ₂	Guerra e terrorismo	
		S ₃	Acidentes com incêndios	
		S ₄	Instabilidade política	
		S ₅	Instabilidade econômica	
		S ₆	Questões legais externas	
		S ₇	Risco de soberania	
		S ₈	Instabilidade regional	
		S ₉	Regulamentos governamentais	
		S ₁₀	Epidemias e pandemias	
		S ₁₁	Risco para inovação	
		S ₁₂	Preços de <i>commodities</i>	
		S ₁₃	Energia	
		S ₁₄	Reclamações sociais e culturais	
C ₂	Risco de fornecimento	S ₁₅	Incapacidade de lidar com mudanças na demanda	AQLAN; LAM, 2016; CHAN <i>et al.</i> , 2008; CHAN; KUMAR, 2007; CHAUDHURI <i>et al.</i> , 2020; CHOPRA; SODHI, 2004; CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006; DÍAZ-CURBELO; ESPIN ANDRADE; GENTO MUNICIO, 2019; ER KARA; FIRAT, 2018; GANGULY; GUIN, 2013; GAUDENZI; BORGHESI, 2006; GUERTLER; SPINLER, 2015; HAHN; KUHN, 2012; HUDNURKAR <i>et al.</i> , 2017; JHARKHARIA; SHANKAR, 2007; KULL; TALLURI, 2008; LAVASTRE; GUNASEKARAN; SPALANZANI, 2014; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2014; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015a; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015b; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2016; MANUJ; MENTZER, 2008; MICHELI; CAGNO; ZORZINI, 2008; RAVINDRAN <i>et al.</i> , 2010; SAMVEDI; JAIN; CHAN, 2013; SCHOENHERR; TUMMALA; HARRISON, 2008; SHAHBAZ; RASI; AHMAD, 2019; SHARMA; BHAT, 2014; TALLURI; NARASIMHAN, 2003; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; TUNCEL; ALPAN, 2010; VISWANADHAM; SAMVEDI, 2013; WAGNER; NESHAT, 2010; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006; YOON <i>et al.</i> , 2018; ZSIDISIN; ELLRAM, 2003
		S ₁₆	Incapacidade de sobretensão de fornecimento	
		S ₁₇	Inflexibilidade de operação e entrega	
		S ₁₈	Plano de compras ineficiente	
		S ₁₉	Falta de contrato com fornecedores	
		S ₂₀	Produtos sem a documentação ou qualidade exigidas	
		S ₂₁	Falha na seleção dos fornecedores certos	
		S ₂₂	Falha em atender requisitos de entrega	
		S ₂₃	Não é possível fornecer preços competitivos	
		S ₂₄	Fornecedor tecnologicamente atrás dos concorrentes	
		S ₂₅	Falência do fornecedor	
		S ₂₆	Fornecimento único	
		S ₂₇	Pequena base de suprimentos	
		S ₂₈	Dependência de fornecedores	
		S ₂₉	Incapacidade de resposta de fornecimento	
		S ₃₀	Utilização de alta capacidade da fonte de suprimento	
		S ₃₁	Terceirização global	
		S ₃₂	Número reduzido de fornecedores intermediários	
		S ₃₃	Falta de integração com fornecedores	
		S ₃₄	Falta de visibilidade dos fornecedores	
		S ₃₅	Gerenciamento inadequado de fornecedores	
		S ₃₆	Força do mercado de fornecedores	
		S ₃₇	Oportunismo do fornecedor	
		S ₃₈	Monopólio	

		S ₃₉	Variabilidade do tempo de entrega	
		S ₄₀	Problemas contratuais com fornecedores	
		S ₄₁	Baixa confiabilidade técnica	
		S ₄₂	Erros de cumprimento do fornecedor	
		S ₄₃	Alto custo de aquisição	
		S ₄₄	Ineficiência do modelo de custo do fornecedor	
		S ₄₅	Infraestrutura inadequada de processamento de pedidos	
		S ₄₆	Erro humano	
		S ₄₇	Valores culturais e morais do fornecedor	
		S ₄₈	Não conformidade com normas e regulamentos ambientais	
		S ₄₉	Termos de pagamento em contratos	
		S ₅₀	Falhas na automação da troca de dados	
		S ₅₁	Impossibilidade de resolução de problemas comuns	
		S ₅₂	Falta ou falha de serviço e suporte	
		S ₅₃	Rentabilidade da colaboração	
		S ₅₄	Falha de comunicação precisa e rápida	
		S ₅₅	Inexistência de comunicação proativa de problemas	
		S ₅₆	Planejamento conjunto de capacidade inexistente ou inadequado	
		S ₅₇	Perda de confiança no fornecedor	
		S ₅₈	Grande cota de mercado do fornecedor gera fixação de preços	
		S ₅₉	Aumento repentino de custos	
S ₆₀	Localização geográfica dispersa dos fornecedores			
S ₆₁	Interrupção no fornecimento			
C ₃	Risco de produção	S ₆₂	Litígios e greves trabalhistas	AQLAN, 2016; AQLAN; LAM, 2016; AVELAR-SOSA; GARCÍA-ALCARAZ; CASTRELLÓN-TORRES, 2014; CHAUDHURI <i>et al.</i> , 2020; CHOPRA; SODHI, 2004; CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006; DÍAZ-CURBELO <i>et al.</i> , 2019; GAUDENZI; BORGHESI, 2006; HAHN; KUHN, 2012; HUNG, 2011; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015a; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015b; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2016; MANUJ; MENTZER, 2008; PRAKASH <i>et al.</i> , 2016; RADIVOJEVIĆ; GAJOVIĆ, 2014; SAMVEDI <i>et al.</i> , 2013; SCHOENHERR; TUMMALA; HARRISON, 2008; SHAHBAZ <i>et al.</i> , 2019; SILVA <i>et al.</i> , 2020; TSE <i>et al.</i> , 2011; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; TUNCEL; ALPAN, 2010; VENKATESH; RATHI; PATWA, 2015; WAGNER; NESHAT, 2010; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006; ZANJIRCHI; JALILIAN; MIRHOSEINI, 2017
		S ₆₃	Acidentes com funcionários	
		S ₆₄	Doenças dos funcionários	
		S ₆₅	Rotatividade de funcionários	
		S ₆₆	Funcionários ineficientes ou não qualificados	
		S ₆₇	Funcionários resistentes à mudança	
		S ₆₈	Ausência do operador/funcionário	
		S ₆₉	Insatisfação dos funcionários	
		S ₇₀	Disputas entre funcionários	
		S ₇₁	Falta de comunicação entre equipes de trabalho	
		S ₇₂	Falta de experiência ou treinamento dos funcionários	
		S ₇₃	Pausas insuficientes	
		S ₇₄	Condições de trabalho	
		S ₇₅	Erro organizacional e/ou erro humano	
		S ₇₆	Riscos ocupacionais (físicos, químicos e biológicos)	
S ₇₇	Obsolescência do produto			
S ₇₈	Limitações técnicas			
S ₇₉	Planejamento e programação pobres e/ou erros de previsão			
S ₈₀	Prestação de contas e responsabilidade			
S ₈₁	Custo de manutenção de estoque			

		S_{82}	Falhas na gestão da política de estoques (CS acionada por estoque)	
		S_{83}	Propriedade do inventário	
		S_{84}	Inventário enxuto	
		S_{85}	Inflexibilidade de produção	
		S_{86}	Capacidade de produção	
		S_{87}	Falhas nos requisitos de qualidade e segurança dos produtos	
		S_{88}	Design de novos produtos, P&D	
		S_{89}	Falta de controle sobre o conhecimento que entrou e saiu da organização	
		S_{90}	Conhecimento insuficiente sobre tecnologias, produtos e processos	
		S_{91}	Fraude, sabotagem e pilhagem	
		S_{92}	Falha ou falta de recursos técnicos e de conhecimento	
		S_{93}	Engenharia e inovação	
		S_{94}	Fases vinculadas na fabricação	
		S_{95}	Interrupção de armazém e produção	
		S_{96}	Manutenção insuficiente	
		S_{97}	Escassez de matéria-prima, equipamentos, fatores de produção	
		S_{98}	Integração com os parceiros da cadeia de suprimentos	
		S_{99}	Falha na máquina, equipamento ou instalação	
		S_{100}	Aumento nos níveis de estoque de produtos acabados	
		S_{101}	Existência de recursos produtivos vencidos ou comprometidos	
		S_{102}	Falta de recursos desviados por furto ou roubo	
		S_{103}	Surgimento de uma tecnologia disruptiva	
		S_{104}	Perda da propriedade intelectual do produto	
		S_{105}	Atraso no desenvolvimento do produto	
		S_{106}	Liquidez de mercado	
		S_{107}	Instabilidade ou alta variabilidade do processo de fabricação	
		S_{108}	Obsolescência da planta de produção	
		S_{109}	Gestão incorreta do estoque/inventário	
		S_{110}	Atividades antiéticas entre os parceiros da cadeia suprimentos	
		S_{111}	Armazenamento centralizado de produtos acabados	
		S_{112}	Competitividade produtiva	
		S_{113}	Alterações de design de produto e/ou processo	
		S_{114}	Mudança tecnológica	
		S_{115}	Dificuldade em seguir procedimentos padrão	
		S_{116}	Risco de colaboração relacionado às operações e produtos	
		S_{117}	Estoque esgotado	
		S_{118}	Inadequação da capacidade de armazenamento	
C_4	Risco de demanda	S_{119}	Previsões de demanda imprecisas	ABDEL-BASSET <i>et al.</i> , 2019; AQLAN; LAM, 2016; AVELAR-SOSA; GARCÍA-ALCARAZ; CASTRELLÓN-TORRES, 2014; CHAUDHURI <i>et al.</i> , 2020; CHOPRA; SODHI, 2004; CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006;
		S_{120}	Erros graves de previsão	
		S_{121}	Efeito chicote ou distorção das informações	
		S_{122}	Incerteza de demanda	
		S_{123}	Picos de demanda repentina	
		S_{124}	Variabilidade da demanda	
		S_{125}	Falta ou falha de segmentação de clientes	

C ₅		S ₁₂₆	Alto nível de serviço exigido pelos clientes	GAUDENZI; BORGHESI, 2006; HAHN; KUHN, 2012; HUDNURKAR <i>et al.</i> , 2017; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015a; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015b; MANUIJ; MENTZER, 2008; REVILLA; SAENZ, 2017; SAMVEDI <i>et al.</i> , 2013; SHAHBAZ <i>et al.</i> , 2019; SIMCHI-LEVI, 2010; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; TUNCEL; ALPAN, 2010; VENKATESH; RATHI; PATWA, 2015; WAGNER; NESHAT, 2010; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006; ZANJIRCHI <i>et al.</i> , 2017
		S ₁₂₇	Falta ou falha de integração com clientes	
		S ₁₂₈	Dependência excessiva do cliente	
		S ₁₂₉	Função de gerenc. de relacionamento com o cliente deficiente ou ausente	
		S ₁₃₀	Prazos curtos	
		S ₁₃₁	Ciclo de vida curto dos produtos	
		S ₁₃₂	Movimentos do concorrente	
		S ₁₃₃	Mudanças na competição	
		S ₁₃₄	Mudanças de mercado	
		S ₁₃₅	Alta concorrência no mercado	
		S ₁₃₆	Produção interna baixa ou insuficiente para atender a demanda	
		S ₁₃₇	Falha em responder às mudanças de demanda	
		S ₁₃₈	Queda de preço devido a um novo concorrente	
		S ₁₃₉	Queda de vendas devido a um novo produto concorrente	
		S ₁₄₀	Falhas importantes do cliente	
		S ₁₄₁	Falhas no processo de entrega do produto e/ou serviço ao cliente	
		S ₁₄₂	Riscos resultantes da entrada de novos concorrentes	
		S ₁₄₃	Falta ou falha de serviços de pós-venda	
	S ₁₄₄	Falta ou falha no planejamento conjunto de demanda		
	S ₁₄₅	Cancelamento de pedidos ou devoluções		
	S ₁₄₆	Erros no atendimento de pedidos		
	S ₁₄₇	Alto nível de expectativa do cliente		
	S ₁₄₈	Riscos que afetam o valor do cliente		
	S ₁₄₉	Manuseio excessivo de carga devido a fronteira ou alt. de transporte	AQLAN; LAM, 2016; CHOPRA; SODHI, 2004; GAUDENZI; BORGHESI, 2006; HUDNURKAR <i>et al.</i> , 2017; SCHOENHERR; TUMMALA; HARRISON, 2008; SHAHBAZ <i>et al.</i> , 2019; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; TUNCEL; ALPAN, 2010; VENKATESH; RATHI; PATWA, 2015; WAGNER; NESHAT, 2010; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006	
	S ₁₅₀	Falta de eficácia na saída		
	S ₁₅₁	Fragmentação dos provedores de transporte		
	S ₁₅₂	Nenhuma alternativa de solução de transporte		
	S ₁₅₃	Rede de transporte complexa		
	S ₁₅₄	Falhas de entrega dentro do prazo e orçamento		
	S ₁₅₅	Danos e acidentes de transporte		
	S ₁₅₆	Baixa qualidade das rodovias e estradas		
	S ₁₅₇	Ataque pirata marítimo		
	S ₁₅₈	Roubo remoto em rodovias		
	S ₁₅₉	Estresse na tripulação		
S ₁₆₀	Falta de treinamento de funcionários			
S ₁₆₁	Longos tempos de trabalho			
S ₁₆₂	Manutenção negligente			
S ₁₆₃	Capacidade e custo de transporte			
S ₁₆₄	Tecnologia antiga			
S ₁₆₅	Avarias no transporte			
S ₁₆₆	Proximidade de aeroportos			
S ₁₆₇	Rede global de compras			
S ₁₆₈	Complexidade da cadeia de suprimentos			
S ₁₆₉	Capacidade portuária, greves e congestionamento			
	Risco de transporte			

		S_{170}	Entrave aduaneiro nos portos	
		S_{171}	Instalação de armazém inconsistente	
		S_{172}	Papelada e agendamento	
		S_{173}	Maiores custos de transporte	
		S_{174}	Baixa performance de provedores logísticos	
		S_{175}	Flutuações da taxa de câmbio da moeda	
		S_{176}	Flutuações de preço	
		S_{177}	Nível de taxa de juros	
		S_{178}	Mudanças salariais	
		S_{179}	Falta de solidez financeira dos clientes	
		S_{180}	Falhas de captação de recursos	
		S_{181}	Custo do produto	
		S_{182}	Questões financeiras de seguros	
		S_{183}	Perda de contrato	
		S_{184}	Margem de lucro baixa	
		S_{185}	Crescimento de mercado	
		S_{186}	Tamanho do mercado	
		S_{187}	Prazo de entrega para processamento interno e o momento de suas saídas de caixa relacionadas	
		S_{188}	Períodos de crédito para contas à receber de clientes e o padrão de cobrança antecipada de contas à receber	
		S_{189}	Períodos de crédito para contas à pagar de fornecedores e o padrão de pagamento antecipado de contas à pagar	
		S_{190}	Colapso do mercado de ações	
		S_{191}	Alto ciclo de conversão de caixa	
		S_{192}	Preços competitivos	
		S_{193}	Risco fiscal	
		S_{194}	Risco de imparidade de ativos	
		S_{195}	Falência ou insolvência de parceiros da cadeia de suprimentos	
		S_{196}	Receita decrescente	
		S_{197}	Limitações financeiras para P&D	
		S_{198}	Ameaças físicas à infraestrutura de informações	
		S_{199}	Integração de sistemas ou ampla rede de sistemas	
		S_{200}	Pane cibernética	
		S_{201}	Comércio eletrônico	
		S_{202}	Atrasos na informação	
		S_{203}	Falta de transparência das informações entre logística e marketing	
		S_{204}	Segurança da Internet	
		S_{205}	Compartilhamento inadequado de informações e risco	
		S_{206}	Ameaças à segurança de TI, como vírus, hackers e hacktivistas	
		S_{207}	Ataques indiretos aos sistemas de informação	
		S_{208}	Vazamento intencional ou não intencional de informações	
		S_{209}	Ameaça interna de funcionários	
		S_{210}	Compartilhamento inadequado de informações de mídias sociais	
C_6	Risco financeiro			CHOPRA; SODHI, 2004; CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006; HAHN; KUHN, 2012; HUDNURKAR <i>et al.</i> , 2017; LIU; NAGURNEY, 2011; MANGLA <i>et al.</i> , 2015b; MANGLA <i>et al.</i> , 2016; MANUJ; MENTZER, 2008; RADIVOJEVIĆ; GAJOVIĆ, 2014; SAMVEDI <i>et al.</i> , 2013; SCHOENHERR; TUMMALA; HARRISON, 2008; SILVA <i>et al.</i> , 2020; TSAI, 2008; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; VENKATESH; RATHI; PATWA, 2015; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006
C_7	Risco de informação			CHAUDHURI <i>et al.</i> , 2020; CHOPRA; SODHI, 2004; COLICCHIA <i>et al.</i> , 2019; CUCCHIELLA; GASTALDI, 2006; EGRI, 2013; FRIDAY <i>et al.</i> , 2018; GAUDENZI; BORGHESI, 2006; GHADGE <i>et al.</i> , 2019; GUERTLER; SPINLER, 2015; HUDNURKAR <i>et al.</i> , 2017; LEE; WHANG, 2000; LI <i>et al.</i> , 2015; MANGLA <i>et al.</i> , 2014; MANGLA <i>et al.</i> , 2016; PRAKASH <i>et al.</i> , 2016; RADIVOJEVIĆ; GAJOVIĆ, 2014; TAN; WONG; CHUNG, 2016; TUMMALA; SCHOENHERR, 2011; VENKATESH; RATHI; PATWA, 2015; WU; BLACKHURST; CHIDAMBARAM, 2006

		S_{211}	Riscos cibernéticos relacionados à Indústria 4.0	
		S_{212}	Falta de confiança para troca de informação entre os parceiros da cadeia de suprimentos	
		S_{213}	Assimetria de informação entre os parceiros da cadeia de suprimentos	
		S_{214}	Violação de dados	
		S_{215}	Falha de TI	
		S_{216}	Risco de informação fiscal	
		S_{217}	Contratos de TI	
		S_{218}	Falha de software	
		S_{219}	Falha no compartilhamento de conhecimento em toda a rede e com partes externas interessadas	
		S_{220}	Estabilidade e confiabilidade dos sistemas de informação	
		S_{221}	Falta de compatibilidade entre as plataformas de TI dos parceiros da cadeia de suprimentos	
		S_{222}	Propagação de ruptura de informação	
		S_{223}	Procedimentos de recuperação e backup	
		S_{224}	Risco de colaboração relacionado à TI	
Riscos relacionados à sustentabilidade da cadeia de suprimentos				
Código	Tipo de risco	Código	Fator de risco	Autores
C_8	Risco ambiental	S_{225}	Consumo ineficiente de energia	ALEKSIĆ <i>et al.</i> , 2019; ANDERSON; ANDERSON, 2009; BRANCOLI <i>et al.</i> , 2019; CHRISTOPHER <i>et al.</i> , 2011; COUSINS; LAMMING; BOWEN, 2004; DAMERT <i>et al.</i> , 2018; FOERSTL <i>et al.</i> , 2010; GIANNAKIS; PAPADOPOULOS, 2016; GOUDA; SARANGA, 2018; HALLDÓRSSON; KOTZAB; SKJØTT-LARSEN, 2009; HOFMANN <i>et al.</i> , 2014; IOANNIDOU <i>et al.</i> , 2019; MA; YAO; HUANG, 2012; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015a; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015b; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2016; MAVI <i>et al.</i> , 2013; NAZAM <i>et al.</i> , 2015; RAJESH, 2019; ROEHRICH; GROSVOLD; HOEJMOSE, 2014; ROSTAMZADEH <i>et al.</i> , 2018; SEURING; MÜLLER, 2008; SHAW <i>et al.</i> , 2013; SONG; MING; LIU, 2017; SYED <i>et al.</i> , 2019; TEUSCHER; GRÜNINGER; FERDINAND, 2006; WANG <i>et al.</i> , 2012; WU <i>et al.</i> , 2017; XU <i>et al.</i> , 2019
		S_{226}	Acidentes ambientais	
		S_{227}	Gases de efeito estufa	
		S_{228}	Não conformidade ambiental	
		S_{229}	Poluição	
		S_{230}	Desperdício excessivo de produtos	
		S_{231}	Embalagem	
		S_{232}	Mudanças climáticas	
		S_{233}	Escassez de água	
		S_{234}	Risco interno verde	
		S_{235}	Risco de fornecimento verde	
		S_{236}	Risco de demanda verde	
		S_{237}	Risco de integração verde	
		S_{238}	Fornecedores globais dispersos	
		S_{239}	Perda de reputação por problemas ambientais	
		S_{240}	Falha na inspeção de produtos para remanufatura	
		S_{241}	Falhas das obrigações de devolução	
		S_{242}	Falhas do processo de reciclagem de fornecedor	
		S_{243}	Descompromisso ambiental	
		S_{244}	Falha de entrega de produtos ecológicos	
S_{245}	Readequação para tecnologia ecológica			
S_{246}	Incapacidade de usar biocombustível			
S_{247}	Riscos de reciclagem			

		S ₂₄₈	Falta de conhecimento sobre tecnologia ambiental	
		S ₂₄₉	Uso ineficiente de recursos	
		S ₂₅₀	Geração de resíduos perigosos	
		S ₂₅₁	Riscos de projeto ecológico	
		S ₂₅₂	Riscos de projeto de logística reversa	
		S ₂₅₃	Falhas no controle de reprocessamento	
		S ₂₅₄	Riscos de centros de reprocessamento	
		S ₂₅₅	Ameaças à biodiversidade	
		S ₂₅₆	Exposição tecnológica ambiental	
		S ₂₅₇	Exposição de fornecimento ambiental	
		S ₂₅₈	Falhas de entrega ecológica	
		S ₂₅₉	Descumprimento de requisitos de qualidade ecológica	
		S ₂₆₀	Falha de garantia de fornecimento ecológico	
		S ₂₆₁	Baixa flexibilidade ecológica	
		S ₂₆₂	Baixa qualidade do ecossistema	
		S ₂₆₃	Esgotamento de recursos	
		S ₂₆₄	Falta ou falha na avaliação do ciclo de vida do(s) produto(s)	
		S ₂₆₅	Riscos de implementação de matéria-prima verde	
		S ₂₆₆	Falta de práticas produtivas de baixo carbono	
		S ₂₆₇	Alta geração de resíduos na interface fornecedor-varejista	
		S ₂₆₈	Escassez de recursos bióticos e renováveis	
		S ₂₆₉	Pressões externas de organizações não-governamentais (ONGs)	
		S ₂₇₀	Falta de orientação da cultura ambiental nas empresas	
		S ₂₇₁	Falta de gestão de resíduos sólidos	
		S ₂₇₂	Baixa "pegada ambiental" do fornecedor	
		S ₃₁₈	<i>Outros: Dificuldade de licenciamento ambiental</i>	
C ₉	Risco social	S ₂₇₃	Trabalho infantil	CLIFT, 2003; TEUSCHER; GRÜNINGER; FERDINAND, 2006; SEURING; MÜLLER, 2008; FOERSTL <i>et al.</i> , 2010; MA; YAO; HUANG, 2012; CRUZ, 2013; HOFMANN <i>et al.</i> , 2014; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2014; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2016; GIANNAKIS; PAPADOPOULOS, 2016; SONG; MING; LIU, 2017; ZIMMER <i>et al.</i> , 2017; GOUDA; SARANGA, 2018; XU <i>et al.</i> , 2019; RAJESH, 2019; NASSAR <i>et al.</i> , 2020; SEBASTIANELLI; TAMIMI, 2020
		S ₂₇₄	Trabalho forçado	
		S ₂₇₅	Discriminação	
		S ₂₇₆	Ambiente de trabalho insalubre ou perigoso	
		S ₂₇₇	Tratamento desumano, assédio moral ou sexual	
		S ₂₇₈	Desrespeito aos direitos de funcionários e/ou salários injustos	
		S ₂₇₉	Tratamento antiético de animais	
		S ₂₈₀	Tempo de trabalho excessivo	
		S ₂₈₁	Desafios demográficos	
		S ₂₈₂	Inquietação social	
		S ₂₈₃	Perda de reputação por problemas sociais de fornecedores	
		S ₂₈₄	Questões éticas de conduta nos negócios pelo fornecedor	
		S ₂₈₅	Não cumprimento de compromisso social	
		S ₂₈₆	Violação da ética nos negócios	
		S ₂₈₇	Escassez de mão de obra ecológica	
		S ₂₈₈	Falhas de responsabilidade social corporativa	
		S ₂₈₉	Não conformidade social segundo a norma SA 8000	
		S ₂₉₀	Violação da liberdade de associação	

		S ₂₉₁	Não conformidade com as normas int. de saúde e segurança ocupacional	
		S ₂₉₂	Falhas trabalhistas e/ou relativas aos direitos humanos dos fornecedores	
		S ₂₉₃	Protestos públicos de clientes e consumidores	
		S ₂₉₄	Riscos sociais de reciclagem ou remanufatura	
		S ₂₉₅	Desigualdade de gênero	
		S ₂₉₆	Questões de saúde humana, água potável e saneamento	
		S ₂₉₇	Falhas na governança social	
		S ₂₉₈	Riscos sociais de recall de produtos	
		S ₂₉₉	Falta de treinamento de responsabilidade social	
		S ₃₀₀	Desigualdade de oportunidades	
C ₁₀	Risco econômico	S ₃₀₁	Reivindicações antitruste	GIANNAKIS; PAPADOPOULOS, 2016; LEE, 2009; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2015b; MANGLA; KUMAR; BARUA, 2016; MULHALL; BRYSON, 2014; NGAN <i>et al.</i> , 2019; RAJESH, 2019; SONG <i>et al.</i> , 2017; WANG <i>et al.</i> , 2012
		S ₃₀₂	Suborno ou corrupção	
		S ₃₀₃	Declarações falsas ou desonestidade	
		S ₃₀₄	Conspiração para fixação de preços	
		S ₃₀₅	Evasão fiscal	
		S ₃₀₆	Boicotes	
		S ₃₀₇	Litígios de sustentabilidade	
		S ₃₀₈	Volatilidade de preço/custo de recursos ecológicos	
		S ₃₀₉	Captação e gerenciamento financeiro sustentável	
		S ₃₁₀	Riscos de sustentabilidade econômica referentes ao governo	
		S ₃₁₁	Riscos de custo, fabricação e compras de produtos/serviços ecológicos	
		S ₃₁₂	Falhas de logística ecológica	
		S ₃₁₃	Risco de marketing ecológico	
		S ₃₁₄	Incapacidade de sustentabilidade tecnológica e financeira	
		S ₃₁₅	Inibição das práticas sustentáveis pelo mercado	
		S ₃₁₆	Baixa demanda por produtos biológicos	
		S ₃₁₇	Risco de preço de energia e sustentabilidade	

Fonte: Autoria própria (2021).

APÊNDICE E - Estudo de casos múltiplos: características das empresas e dos decisores

N.	Codiname da empresa	País de origem ^a	Estados brasileiros onde atua ^b	Atividade principal	Número de empregados ^c	Faturamento bruto anual [R\$ milhões] ^d	Tempo médio de atuação do(s) decisor(es) na empresa [anos]	Principal cargo ou função do(s) decisor(es)
1	<i>Alpha</i>	Brasil	BA, RN	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres	>200 <300	>50 <100	>5 <10	Administrador; analista; analista de suprimentos; assessor; coordenador; coordenador de políticas públicas; diretor; diretor geral; diretor superintendente; diretor de novos negócios; engenheiro de operações; gerente executivo; gerente departamental; gerente de base
2	<i>Beta</i>	Argentina	BA	Fornecimento atacadista de máquinas e equipamentos, partes e peças para E&P de petróleo e gás natural em campos terrestres	<100	>10 <15	>5 <10	
3	<i>Gamma</i>	Brasil	BA, RN, SE, AL, ES	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres	>100 <150	>80 <120	>5 <10	
4	<i>Delta</i>	Brasil	BA, SE, AL	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres; geração de energias convencionais e renováveis	>100 <150	>20 <40	>5 <10	
5	<i>Epsilon</i>	Canadá	BA	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres	<100	>30 <50	>10 <15	
6	<i>Zeta</i>	Tailândia	RN, SE, AL	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres	>200 <250	>35 <55	>5 <10	
7	<i>Eta</i>	Reino Unido	BA, RN, MA	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres	>100 <150	>15 <20	>2 <5	
8	<i>Theta</i>	Canadá	BA, SE	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres	>100 <150	>250 <300	>5 <10	
9	<i>Iota</i>	Brasil	MA, AM	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres; geração e comercialização de energia elétrica	>300 <400	>800 <900	>5 <10	
10	<i>Kappa</i>	Brasil	BA, RN, ES, MG	E&P de petróleo e gás natural em campos maduros e/ou marginais terrestres; geração e comercialização de energia elétrica	>150 <250	>40 <80	>10 <15	

^a Localização da sede, matriz, controladora ou *holding*;

^b Legenda dos Estados: BA - Bahia; RN - Rio Grande do Norte; SE - Sergipe; AL - Alagoas; ES - Espírito Santo; MA - Maranhão; AM - Amazonas; MG - Minas Gerais;

^c Corresponde ao número total de empregados diretos em operação no Brasil no ano de 2020;

^d Corresponde ao faturamento bruto anual das operações realizadas no Brasil no ano de 2020.

Fonte: Pesquisa documental, 2021.

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA

CEP: 40.210-630

Telefone: (71) 3283-9800

E-mail: pei@ufba.br

Home page: <http://www.pei.ufba.br>

