

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LUCAS DANIEL DEL ROSSO CALACHE

**Proposta de um modelo híbrido de tomada de decisão em grupo baseado na
teoria *dual hesitant fuzzy* e algoritmo genético**

São Carlos

2022

LUCAS DANIEL DEL ROSSO CALACHE

Proposta de um modelo híbrido de tomada de decisão em grupo baseado na teoria *dual hesitant fuzzy* e algoritmo genético

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão de Operações.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti.

Co-orientador: Prof. Dr. Lauro Osiro.

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

D364p Del Rosso Calache, Lucas Daniel
Proposta de um modelo híbrido de tomada de decisão em grupo baseado na teoria dual hesitant fuzzy e algoritmo genético / Lucas Daniel Del Rosso Calache; orientador Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti; coorientador Lauro Osiro. São Carlos, 2022.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2022.

1. Tomada de decisão em grupo. 2. consenso. 3. dual hesitant fuzzy. 4. estruturação de problemas. 5. algoritmos evolutivos. 6. ações sustentáveis. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **LUCAS DANIEL DEL ROSSO CALACHE**.

Título da tese: "Proposta de um modelo híbrido de tomada de decisão em grupo baseado na teoria *dual hesitant fuzzy* e algoritmo genético".

Data da defesa: 22/07/2022

<u>Comissão Julgadora</u>	<u>Resultado</u>
Prof. Titular Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti (Orientador) (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)	<u>APROVADO</u>
Prof. Dr. Marcelo Seido Nagano (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)	<u>APROVADO</u>
Prof. Dr. Victor Claudio Bento de Camargo (Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)	<u>Aprovado</u>
Prof. Associado Rosley Anholon (Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)	<u>APROVADO</u>
Profa. Titular Mischel Carmen Neyra Belderrain (Instituto Tecnológico de Aeronáutica/ITA)	<u>APROVADO</u>
<p>Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:</p> <p>Profa. Dra. Janaina Mascarenhas Hornos da Costa</p> <p>Presidente da Comissão de Pós-Graduação:</p> <p>Prof. Titular Murilo Araujo Romero</p>	

DEDICATÓRIA

À minha família que sempre me apoiou com a verdadeira definição do amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todas as bênçãos recebidas. Agradeço pelas condições e saúde que tive para poder desenvolver meus estudos. Agradeço principalmente pela família que tenho que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida. Agradeço pela graça obtida na cura do meu pai.

Sou eternamente grato à minha mãe Silvia Maria Del Rosso Calache e ao meu pai Ivanhoé Calache por todo amor, carinho e apoio que sempre recebo. Ao meu irmão Thiago Daniel Del Rosso Calache e sua família pela amizade e todos os momentos de descontração.

Sou eternamente grato aos meus avós Valentino Del Rosso e Thereza Giacometti Del Rosso por todo amor, carinho e apoio aos estudos que sempre deram para todos os netos.

Ao meu orientador e amigo professor Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti por toda a orientação, atenção, paciência, motivação e ensinamentos recebidos ao longo do meu mestrado e do doutorado.

Ao professor e pai acadêmico Victor Claudio Bento de Camargo por toda a amizade, atenção e orientações recebidas dentro e fora da universidade.

Ao professor e coorientador Lauro Osiro pelo apoio, orientação e recomendações para iniciar a vida acadêmica.

Aos meus amigos por dividirem os momentos de alegria, descontração, compartilhamento de ideias, motivação, crescimento pessoal e profissional. Em especial, quero agradecer ao Rafael Ferro Munhoz Arantes e Lucas Gabriel Zanon por toda colaboração nos estudos, escritas de artigos e os vários momentos de descontração e apoio que passamos juntos. Agradeço pelos vários amigos que fiz no laboratório e que me deixaram vários ensinamentos acadêmicos e de vida: Ana Carolina Bertassini, Ana Laura Pavan, André Cervi, Carolina Belloti, Francisco Lima Júnior, Júlia Vacilotto e Nadya Galo. A todos os demais amigos e colegas do departamento que compartilharam momentos e experiências. Agradeço também ao meu amigo Mateus Isaac de Oliveira Souza por estar sempre do meu lado e a todos os amigos que fiz fora do departamento.

A todos os meus professores da graduação, mestrado e doutorado. Obrigado por todo esforço para compartilhar o conhecimento com seus alunos.

Às secretárias, técnicos e todos os funcionários da engenharia de produção que sempre são pacientes e prestativos.

Aos membros da banca por aceitarem o convite e por todas as colaborações para o desenvolvimento da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (001) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo: 2018/21129-5) pelo apoio financeiro.

RESUMO

CALACHE, L. D. D. R. **Proposta de um modelo híbrido de tomada de decisão em grupo baseado na teoria *dual hesitant fuzzy* e algoritmo genético**. 2022. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia de Produção - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

Os processos de tomada de decisão envolvem diversos tomadores de decisão que avaliam várias alternativas em relação à diversos critérios, o que pode trazer alta complexidade ao problema. Vários estudos apresentam técnicas multicritérios baseadas em representações fuzzy para consenso ou agregação dos julgamentos individuais. Uma limitação desses estudos é a não combinação das abordagens de consenso e de agregação de julgamentos individuais. A combinação destes dois tipos de abordagens pode contribuir para um processo de avaliação consensual, ainda que haja divergências em decorrência das diferentes percepções de gestores de diferentes setores. Assim, o objetivo geral deste projeto de doutorado é propor um modelo de tomada de decisão em grupo que busque combinar as abordagens de consenso e de agregação dos julgamentos utilizando a representação *dual hesitant fuzzy sets* (DHFS). Essa representação foi selecionada para superar as limitações das representações *intuitionistic fuzzy e hesitant fuzzy*. O desenvolvimento do projeto de doutorado inclui as seguintes fases: revisão da literatura; seleção das técnicas e construção do modelo; implementação computacional das técnicas; e aplicação piloto com avaliação da proposta. Para alcançar o objetivo exposto, um modelo de tomada de decisão composto por três fases foi proposto. A primeira fase consiste na estruturação do problema por meio da aplicação de um método de estruturação de problemas (PSM). A segunda fase consiste na proposição de um Algoritmo Genético (AG) para buscar o consenso entre os tomadores de decisão na ponderação dos critérios e dos tomadores de decisão. A terceira fase consiste na utilização de operadores de agregação DHFS e a técnica multicritério PROMETHEE V para selecionar o portfólio de alternativas. Uma aplicação piloto foi desenvolvida em uma indústria de siderurgia e mineração para exemplificar a utilização do modelo proposto no contexto de avaliação e seleção de um portfólio de ações sustentáveis. Testes computacionais foram executados para avaliar a robustez e o desempenho do AG proposto, variando-se o número de critérios, o número de tomadores de decisão, a quantidade de termos hesitantes e o nível de consenso requerido. Um gerador de instâncias foi proposto para criar os cenários de testes. Um algoritmo de

otimização por enxame de partículas (PSO) foi implementado para possibilitar a comparação com o AG proposto. Como resultado, este estudo apresentou a proposta de um modelo de tomada de decisão que atende as necessidades atuais dos processos decisórios que envolvem tanto a busca do consenso quanto a agregação das opiniões divergentes dos tomadores de decisão. Os testes computacionais e comparação comprovaram a robustez e eficácia do AG proposto para consenso. A aplicação piloto demonstrou a aplicabilidade do modelo proposto. Como solução, o portfólio de ações sustentáveis definido buscou abranger as diferentes estratégias para a melhoria da sustentabilidade de uma cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: Tomada de decisão em grupo, consenso, *dual hesitant fuzzy sets*, estruturação de problemas, algoritmos evolutivos, ações sustentáveis.

ABSTRACT

CALACHE, L. D. D. R. **Proposal of a hybrid group decision-making model based on dual hesitant fuzzy theory and genetic algorithm.** 2022. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia de Produção - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

The decision making processes involve several decision makers who evaluate several alternatives in relation to various criteria, which can bring high complexity to the problem. Several studies present multi-criteria techniques based on fuzzy representations for consensus or aggregation of individual judgments. A limitation of these studies is the lack of the combination of consensus approaches and aggregation of individual judgments. The combination of these two types of approaches can contribute to a consensual evaluation process, even if there are divergences due to the different perceptions of managers from different sectors. Thus, the overall objective of this PhD project is to propose a group decision-making model that seeks to combine the consensus and judgment aggregation approaches using the dual hesitant fuzzy sets (DHFS) representation. This representation was selected to overcome the limitations of the intuitionistic fuzzy and hesitant fuzzy representations. The development of the Ph.D. project includes the following phases: literature review; selection of techniques and model construction; computational implementation of the techniques; and pilot application with the evaluation of the proposal. To achieve the stated goal, a decision making model composed of three phases was proposed. The first phase consists in structuring the problem by applying a problem structuring method (PSM). The second phase consists of the proposition of a Genetic Algorithm (GA) to reach consensus among decision makers in the weighting of criteria and decision makers. The third phase consists of the use of DHFS aggregation operators and the PROMETHEE V multicriteria technique to select the portfolio of alternatives. A pilot application was developed in a steel and mining industry to exemplify the use of the proposed model in the context of evaluation and selection of a sustainable actions. Computational tests were performed to evaluate the robustness and performance of the proposed GA by varying the number of criteria, the number of decision makers, the number of hesitant terms, and the required level of consensus. An instance generator was proposed to create the test scenarios. A Particle Swarm Optimization algorithm (PSO) was implemented to allow comparison with the proposed GA. As a result, this study presented a decision-making model that meets the current needs of decision-making processes that

involve both the search for consensus and the aggregation of divergent opinions of decision makers. Computational testing and comparison proved the robustness and effectiveness of the proposed consensus GA. The pilot application demonstrated the applicability of the proposed model. As a solution, the portfolio of sustainable actions defined sought to cover the different strategies for improving the sustainability of a supply chain.

Keywords: Group decision making, consensus, dual hesitant fuzzy sets, problem structuring, evolutionary algorithms, sustainable actions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas para o desenvolvimento do projeto.....	36
Figura 2 - Etapas gerais para o processo de revisão sistemática.....	37
Figura 3 - Exemplo de uma relação causa e efeito.	44
Figura 4 - Etapas do método SSM.	46
Figura 5 - Número de artigos de consenso com técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo publicados em cada ano.	62
Figura 6 - Número de artigos de consenso com técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo publicados em cada país.	63
Figura 7 - Número de artigos de DHF publicados ao longo dos anos.	81
Figura 8 - Distribuição dos artigos de DHF de acordo com o país da universidade do primeiro autor.....	81
Figura 9 - Técnicas utilizadas em conjunto com DHFS.	85
Figura 10 - Processo genérico de um algoritmo evolutivo.	86
Figura 11 - Número de artigos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo publicados ao longo dos anos.	88
Figura 12 - Participação dos países na publicação de artigos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.....	89
Figura 13 - Número de artigos publicados por periódicos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.....	89
Figura 14 - Técnicas aplicadas em conjunto com os algoritmos evolutivos na tomada de decisão em grupo.	91
Figura 15 – Distribuição dos artigos de acordo com a abordagem adotada pelos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.	92
Figura 16 - Representações de informação utilizadas pelos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.....	93
Figura 17 - Número de tomadores de decisão considerados nos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.....	93
Figura 18 - Número de critérios considerados nos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.....	94
Figura 19- Geração de uma nova população pelo Algoritmo Genético.....	97
Figura 20- Processo genérico para um algoritmo PSO.....	99

Figura 21- Diagrama de relações para ações estratégicas sustentáveis na cadeia de suprimentos.....	113
Figura 22 - Número de estudos que abordam estratégias sustentáveis para cadeia de suprimentos publicados ao longo dos anos.....	115
Figura 23 - Número de artigos publicados de acordo com a nacionalidade da universidade do primeiro autor.....	115
Figura 24: Modelo de tomada de decisão em grupo proposto.....	125
Figura 25 - Processo de obtenção de consenso para definição dos pesos dos critérios e dos tomadores de decisão.....	127
Figura 26 - Passos gerais aplicados no VFT.....	138
Figura 27 – Rede de objetivos meios–fins levantados no questionário e relatório de sustentabilidade.....	140

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Técnicas utilizadas para identificar objetivos.....	52
Quadro 2 - Diferentes definições de consenso na literatura.	57
Quadro 3 - Vantagens e limitações das abordagens de consenso.	71
Quadro 4 - Número de artigos com DHF publicados em cada periódico.....	82
Quadro 5 - Classificação das aplicações dos estudos com DHFS.	83
Quadro 6- Direcionadores e possíveis práticas para melhoria da sustentabilidade na cadeia de suprimentos.	110
Quadro 7 - Algoritmo Genético para melhoria da compatibilidade DHFS.	130
Quadro 8 - Perguntas aplicadas para o levantamento de objetivos no VFT.	139
Quadro 9 - Algoritmo para geração de instancias.....	180
Quadro 10 - Algoritmo PSO para melhoria da compatibilidade DHFS	188

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de fornecedores.....	65
Tabela 2 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de projetos.	67
Tabela 3 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de equipamentos.	68
Tabela 4 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de localizações.	68
Tabela 5 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de investimentos.	69
Tabela 6 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de avaliação de riscos.	70
Tabela 7 - Aplicações de abordagens de consenso considerando sustentabilidade.	72
Tabela 8 - Principais problemas abordados pelos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.....	90
Tabela 9- Tipos de funções de preferência para critérios utilizadas no PROMETHEE. .	102
Tabela 10 - Classificação dos artigos em relação as estratégias sustentáveis.....	118
Tabela 11 - Características dos estudos para o problema de seleção de projetos sustentáveis.	123
Tabela 12 - Variáveis linguísticas e parametrização intuicionista.	126
Tabela 13 - Variáveis linguísticas para avaliação do desempenho das alternativas.	132
Tabela 14 - Objetivos fundamentais, critérios e alternativas do problema.....	140
Tabela 15 - Alternativas identificadas no VFT e sua classificação segundo o tipo de estratégia abordada.....	141
Tabela 16 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 1 (TD1) para ponderação de critérios.	143
Tabela 17 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 2 (TD2) para ponderação de critérios.	144
Tabela 18 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 3 (TD3) para ponderação de critérios.	145

Tabela 19 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 4 (TD4) para ponderação de critérios.	146
Tabela 20 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 5 (TD5) para ponderação de critérios.	147
Tabela 21 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 6 (TD6) para ponderação de critérios.	148
Tabela 22 - Expressões linguísticas modificadas pelo tomador de decisão 6 (TD6) para ponderação de critérios.	153
Tabela 23 - Resultados obtidos na segunda rodada do AG.	154
Tabela 24 - Pesos obtidos para os critérios de tomada de decisão.....	155
Tabela 25 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 1 (TD1) para o desempenho das alternativas.	157
Tabela 26 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 2 (TD2) para o desempenho das alternativas.	158
Tabela 27 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 3 (TD3) para o desempenho das alternativas.	159
Tabela 28 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 4 (TD4) para o desempenho das alternativas.	160
Tabela 29 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 5 (TD5) para o desempenho das alternativas.	161
Tabela 30 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 6 (TD6) para o desempenho das alternativas.	162
Tabela 31 - Desempenho normalizados de cada alternativa em relação à cada critérios na aplicação piloto.	166
Tabela 32 – Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C1.....	166
Tabela 33 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C2.....	167
Tabela 34 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C3.....	167
Tabela 35 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C4.....	167
Tabela 36 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C5.....	168

Tabela 37 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C6.....	168
Tabela 38 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C7.....	168
Tabela 39 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C8.....	169
Tabela 40 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C9.....	169
Tabela 41 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C10.....	169
Tabela 42 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C1.	170
Tabela 43 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C2.	170
Tabela 44 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C3.	171
Tabela 45 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C4.	171
Tabela 46 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C5.	171
Tabela 47 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C6.	172
Tabela 48 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C7.	172
Tabela 49 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C8.	172
Tabela 50 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C9.	173
Tabela 51 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C10.	173
Tabela 52 - Resultados dos cálculos dos fluxos de sobreclassificação e ranqueamento das alternativas de projetos avaliadas.....	174
Tabela 53 - Investimento estimado para cada projeto para o desenvolvimento sustentável e fluxo líquido calculado pelo PROMETHEE.....	174

Tabela 54 - Resultados obtidos de acordo com a variação dos limiares p e q no PROMETHEE V.....	177
Tabela 55 - Resultados computacionais para a replicação do AG no cenário considerando 3 tomadores de decisão e 6 critérios.	182
Tabela 56 - Testes computacionais considerando 3 tomadores de decisão.	184
Tabela 57 - Testes computacionais considerando 6 tomadores de decisão.	185
Tabela 58 - Testes computacionais considerando 8 tomadores de decisão.	186
Tabela 59 - Testes computacionais do algoritmo PSO para 3 tomadores de decisão e 6 critérios.	189
Tabela 60 - Resultados dos testes computacionais para o algoritmo PSO.	190

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG – Algoritmo Genético.

AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Método de Análise Hierárquica).

ANP - *Analytic network processes* (Processos de rede analítica).

CE – *Circular Economy*(Economia Circular).

Compat. – Compatibilidade.

CWW- *Computing With Words*.

DHF – *Dual Hesitant Fuzzy*.

DHFS – *Dual Hesitant Fuzzy Sets*.

DHFPR - *Dual Hesitant Fuzzy Preference Relations*.

DHFWA - *Dual Hesitant Fuzzy Weighted Average*.

DHFWG - *Dual Hesitant Fuzzy Weighted geometric*.

DM - *Decision Makers*.

ELECTRE - *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* (eliminação e escolha traduzindo a realidade).

FWAD - *Fuzzy Weighted Axiomatic Design*.

GA- *Genetic Algorithm*.

GDM - *Group Decision Making*.

GDSS - *Group Decision Support System* (Sistema de Apoio à Decisão de Grupo).

HF - *Hesitant Fuzzy*.

HIFLTS - *Hesitant Intuitionistic Fuzzy Linguistic Term Set*.

IF - *Intuitionistic Fuzzy*.

IVHF - *Interval-Valued Hesitant Fuzzy*.

IVIF - *Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy*.

MGDM - *Multi-criteria Group Decision Making* (tomada de decisão multicritério em grupo).

PROMETHEE - *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations* (método de organização do ranking de preferências para o enriquecimento das avaliações).

PSM - *Problem Structuring Methods*(métodos de estruturação de problemas).

RA - *Robustness Analysis*.

SDHFWA - *Symmetric Dual Hesitant Fuzzy Weighted Averaging*.

SMART - *Simple Multi - Attribute Rating Technique* (técnica de classificação multiatributos simples).

SCA - *Strategic Choice Approach* (abordagem de escolha estratégica).

SODA - *Strategic Options Development and Analysis* (Desenvolvimento e análise de opções estratégicas).

SSM - *Soft Systems Methodology*.

SWARA - *Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis* (Análise por etapas da relação de avaliação do peso).

TODIM –Tomada de Decisão Iterativa Multicritério.

TOPSIS - *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (técnica para ordem de preferência por semelhança à solução ideal).

VFT - *Value-Focused Thinking* (Pensamento centrado no valor).

VIKOR - *ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (Solução de Otimização e Compromisso Multicritério).

WASPAS - *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (Avaliação do Produto da Soma Agregada e Ponderada).

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	Contextualização e lacunas de pesquisa.....	27
1.2	Objetivos	34
1.3	Métodos para o desenvolvimento do estudo	35
1.4	Estruturação do texto.....	39
2.	APÓIO À TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO	41
2.1.	MÉTODOS DE ESTRUTURAÇÃO EM GRUPO PARA MCDA.....	42
2.1.1.	Strategic Options Development and analysis (SODA)	43
2.1.2.	Soft Systems Methodology (SSM)	45
2.1.3.	Strategic Choice Approach (SCA)	47
2.1.4.	Robustness Analysis (RA)	49
2.1.5.	Value-Focused Thinking (VFT)	51
2.2.	TÉCNICAS <i>FUZZY</i> PARA TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO	53
2.3.	CONSENSO NO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO	56
2.4.	<i>DUAL HESITANT FUZZY SETS</i>	73
2.4.1.	<i>Conceitos básicos DHFS</i>	74
2.4.2.	<i>Termos linguísticos hesitantes</i>	75
2.4.3.	<i>Operadores de agregação DHFS</i>	77
2.4.4.	<i>Relações de preferencias DHFS</i>	78
2.4.5.	<i>Aplicações Dual Hesitant Fuzzy</i>	80
2.5.	ALGORÍTMOS EVOLUTIVOS APLICADOS À TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO	85
2.6.	ALGORITMO GENÉTICO PARA CONSENSO	95
2.7.	OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS (PARTICLE SWARM OPTMIZATION - PSO).....	98
2.8.	PROMETHEE V	100

3. APOIO À DECISÃO EM AÇÕES ESTRATÉGICAS DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA DE FORNECIMENTO	105
3.1. SUSTENTABILIDADE NA CADEIA DE FORNECIMENTO.....	105
3.2. ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA DE FORNECIMENTO	110
3.3. SELEÇÃO DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS NA CADEIA DE FORNECIMENTO	121
4. PROPOSTA DE MODELO DE TOMADA DE DECISÃO	125
4.1. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO	125
4.2. BUSCA DE CONSENSO ENTRE OS TOMADORES DE DECISÃO.....	127
4.3. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS.....	131
5. APLICAÇÃO PILOTO	137
5.1. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA DA APLICAÇÃO PILOTO.....	137
5.2. BUSCA DE CONSENSO PARA APLICAÇÃO PILOTO	141
5.3. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A APLICAÇÃO PILOTO	155
6. TESTES COMPUTACIONAIS	179
6.1. GERADOR DE INSTÂNCIA.....	179
6.2. TESTES COMPUTACIONAIS E ANÁLISES DO ALGORITMO GENÉTICO IMPLEMENTADO.....	181
6.3. COMPARAÇÃO COM UM ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO DE ENXAME DE PARTÍCULAS (PSO).....	187
7. CONCLUSÕES	191
7.1. Contribuições do estudo.....	191
7.2. Limitações e desafios do estudo	195
7.3. Oportunidades de estudos futuros.....	197

1. INTRODUÇÃO

O preâmbulo desta tese tem por objetivo introduzir o tema abordado, bem como apresentar seu desenvolvimento, propósito e motivação. Desta forma, o Capítulo 1 está organizado segundo as seguintes seções: a Seção 1.1 apresenta a contextualização do tema abordado e as lacunas de pesquisa identificadas na literatura; na Seção 1.2, os objetivos de pesquisa são brevemente levantados; a Seção 1.3 retrata os métodos aplicados para a realização do projeto; e na Seção 1.4, é exibida a estruturação da tese.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E LACUNAS DE PESQUISA

Com um ambiente cada vez mais complexo e competitivo, a tomada de decisão é uma das funções mais importantes dos gestores de qualquer organização (NOORAIE, 2012). O processo de tomada de decisão é uma atividade comum pela qual técnicas podem ser utilizadas para subsidiar os problemas de seleção, avaliação, ordenação e categorização das alternativas disponíveis (ZHANG *et al.*, 2016). Dentre as decisões a serem tomadas, destacam-se aquelas que são consideradas ações estratégicas. As tomadas de decisões estratégicas são focadas no longo prazo e são consideradas vitais devido ao grande impacto que causam no futuro da organização (NOORAIE, 2012; HARRISON, 1996). As decisões estratégicas influenciam a administração, estrutura e direção organizacional, dessa forma, os processos de tomada de decisão envolvem uma grande aplicação de esforços e recursos (CHRISTENSEN *et al.*, 1987).

Esses problemas de tomada de decisão são considerados complexos devido ao grande número de variáveis e parâmetros que devem ser utilizados, bem como a inter-relação dos mesmos. Em geral, várias alternativas são avaliadas por diversos tomadores de decisão em relação à critérios que podem ser subjetivos e conflitantes (KRISHANKUMAR *et al.*, 2019). Para a caracterização e elucidação de problemas complexos, métodos de estruturação de problemas (*Problem structuring methods - PSM*) vêm sendo utilizados na literatura para identificar as possíveis soluções e os atributos que podem ser utilizados para avaliar essas soluções (SCHRAMM; SCHRAMM, 2018). A aplicação de PSMs favorecem um ambiente mais democrático e elevam o entendimento do problema abordado, contribuindo para que os tomadores de decisão se sintam mais

confiantes para expor suas opiniões (GUARNIERI; SILVA; LEVINO, 2016). Porém, somente a aplicação de PSMs podem não ser suficientes para lidar com grandes divergências entre os tomadores de decisão ou julgamentos imprecisos decorrentes de incertezas e hesitações.

Para considerar a opinião de diferentes gestores de diferentes áreas da organização, técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo (*Multi-criteria group decision making* - MCGDM) vem sendo propostas e aplicadas na literatura (TSUI; WEN, 20014). O processo de tomada de decisão em grupo pode ser realizado de duas formas: consenso ou agregação dos julgamentos individuais (XU, 2008). As técnicas baseadas em consenso buscam minimizar as divergências de opiniões dos tomadores de decisão; normalmente, técnicas de otimização são aplicadas para se alcançar uma solução de concordância entre os tomadores de decisão (BEN-ARIEH; EASTON, 2007). As técnicas de consenso são importantes para se alcançar uma solução de comum acordo e que evitem futuras contestações pelos tomadores de decisão envolvidos (MELIA, 2001). Já as técnicas baseadas na agregação dos julgamentos dos tomadores de decisão, utilizam operadores matemáticos de agregação que buscam unificar os julgamentos em uma matriz de tomada de decisão em grupo (XU, 2005; BORAN *et al.*, 2009). As abordagens de agregação normalmente são utilizadas para modelar as diferentes opiniões e pontos de vistas dos envolvidos no processo (WEI, 2010; QIN; LIU, 2014).

Os tomadores de decisão podem expressar suas opiniões por meio de relações de preferência, como na comparação par a par, alternativamente, os tomadores de decisão podem construir uma matriz de julgamentos de alternativas segundo os critérios (LABELLA; RODRIGUEZ; MARTÍNEZ, 2018). Para expressar informações de preferência e julgamentos, os tomadores de decisão normalmente utilizam variáveis linguísticas, que são variáveis na qual os valores são palavras ou sentenças na linguagem natural. A utilização de variáveis linguísticas reflete o fato da razão humana ser mais aproximada do que exata, devido às incertezas geradas por dados imprecisos, incompletos ou duvidosos (ZADEH, 1983). Além disso, diversos fatores podem contribuir para diferentes percepções dos tomadores de decisão, tais como: a experiência na função, pressões internas, nível de comunicação e facilidade de obtenção de informação, entre outras variáveis que podem influenciar em um julgamento. Desta forma, para lidar com diferentes percepções e com a imprecisão dos julgamentos, técnicas da computação com palavras (*Computing with words-CWW*) são utilizadas para processar as avaliações dos

tomadores de decisão (WANG; XU, 2016). Além disso, o processo de tomada de decisão em problemas estratégicos envolve um alto grau de imprecisão inerentes ao processo, tais como julgamentos com hesitação, incertezas nos julgamentos e falta de informações ou dados para realização dos julgamentos (ÇAKIR, 2017).

Considerando a evolução dos sistemas produtivos e de gestão, tais como o desenvolvimento da indústria 4.0, um dos desafios imediatos e importantes é a modelagem de sistemas de decisão por meio de abordagens de consenso envolvendo incerteza e lógica *fuzzy* (MOLANO *et al.*, 2017). Isso ocorre, pois, a modelagem baseada em lógica *fuzzy* pode representar o conhecimento não linear em domínio dos especialistas, sendo utilizados para a definição dos objetivos e variáveis de decisão (COBOS-GUZMAN *et al.*, 2020). Desta forma, diferentes técnicas com diferentes representações linguísticas são propostas na literatura com o objetivo de lidar com diferentes tipos de imprecisões. As representações de informação mais encontradas na literatura são: conjuntos *fuzzy* (ABDULLAH, 2013), *grey numbers* (HUANG; LI, 2011), *rough sets* (FENG, 2011) entre outras abordagens de tomada de decisão estratégica (CHAI *et al.*, 2013; GHORABAE *et al.*, 2017).

As teorias baseadas nos conjuntos *fuzzy* se destacam nas aplicações por serem as mais utilizadas para a análise de dados que apresentam imprecisões nos problemas considerados estratégicos para a organização; além disso, os conjuntos *fuzzy* apresentam diversas generalizações capazes de lidar com diferentes fontes de imprecisão (CHANG; HUNG, 2010). As técnicas MCGDM propostas na literatura utilizam representações *fuzzy* específicas que buscam lidar com o problema de tomada de decisão em grupo. Representações de informações que se enquadram nessa categoria, frequentemente encontradas na literatura são: *intuitionistic fuzzy*- IF (EBRAHIMNEJAD *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2013; WEN; XU; WANG, 2013), *hesitant fuzzy*-HF (GITINAVARD *et al.*, 2016; RODRIGUEZ; MARTINEZ; HERRERA, 2013), *interval-valued intuitionistic fuzzy*- IVIF (REN *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2013), *interval-valued hesitant fuzzy* IVHF (GITINAVARD *et al.*, 2017; CHAI; NGAI 2015).

Outras técnicas frequentemente aplicadas para a tomada de decisão em grupo e que não lidam com a teoria *fuzzy* são: *FI Tradeoff* (DELL'OVO *et al.*, 2018; FREJ; DE ALMEIDA, 2018) PROMETHEE, ELECTRE, SMAA-TRI, voto, escolha social, ordenação pelo grau de dominância, entre outras (MORAIS; DE ALMEIDA; FIGUEIRA, 2014; DE ALMEIDA *et al.*, 2012). Entretanto, essas técnicas não contemplam o

processamento computacional de palavras, nem tão pouco modelam a incerteza decorrente da hesitação dos julgamentos ou da parametrização dos termos linguísticos.

Apesar das técnicas baseadas nas representações intuicionistas e hesitantes serem capazes de modelar as incertezas do processo de tomada de decisão em grupo, cada representação vem sendo utilizada para lidar com um tipo de imprecisão presente no problema. As representações hesitantes são mais adequadas quando existem dúvidas no julgamento, podendo ativar um ou mais termos linguísticos da variável (ZHANG *et al.*, 2016). Já a representação intuicionista é mais adequada quando se deseja adicionar uma margem de hesitação na definição dos números *fuzzy* que representam os termos linguísticos (NGUYEN, 2016). Para superar as limitações das duas técnicas, Zhu, Xu e Xia (2012) propuseram a representação *dual hesitant fuzzy* (DHF), que combinam as representações *intuitionistic fuzzy e hesitant fuzzy*.

A literatura apresenta propostas de aplicações da representação *dual hesitant fuzzy* para problemas de gestão. Entretanto, a grande maioria dos trabalhos busca agregar os julgamentos dos tomadores de decisão, tentando modelar os diferentes pontos de vistas da organização (TANG; YANG; PEDRYCZ, 2018; QI; ZHANG; LIANG, 2018; YU; LI; MERIGÓ, 2016). Por outro lado, alguns estudos apresentam técnicas de consenso para minimizar a divergência do grupo de tomadores de decisão para chegar em uma solução em comum (ZHANG *et al.*, 2016; ZHAO; XU; LIU, 2016). Entretanto, os estudos que tratam sobre técnicas de consenso não processam matematicamente os termos linguísticos.

Uma limitação desses estudos é a não combinação das abordagens de consenso e agregação de julgamentos individuais. Ou seja, as abordagens de consenso e de agregação de julgamentos podem ser combinadas, usadas em momentos ou etapas distintas do processo de tomada de decisão. Em decisões estratégicas, a primeira etapa está relacionada com a elicitación das variáveis e parâmetros e a ponderação dos pesos. Nesta etapa, deseja-se identificar os critérios que serão analisados e suas respectivas importâncias, os tomadores de decisão e seus respectivos pesos. Assim, é desejável que haja um acordo entre todos os envolvidos no processo de decisão sobre como avaliar, para que os resultados não sejam contestados. Portanto, nesta etapa, convém adotar técnicas de consenso para a tomada de decisão. A segunda etapa consiste na realização dos julgamentos das alternativas pelos tomadores de decisão. Nessa etapa, é esperado que não haja consenso, tendo em vista a diversidade de pontos de vista dos diferentes tomadores de decisão. Portanto, nessa fase do processo de decisão, técnicas de agregação de julgamentos são mais adequadas para

considerar os pontos de vista divergentes e específicos do setor de cada tomador de decisão. Logo, a combinação destes dois tipos de abordagens pode contribuir para um processo de avaliação consensual, ainda que haja divergências em decorrência das diferentes percepções de gestores de diferentes setores.

O processo de consenso considerando a tomada de decisão em grupo normalmente envolve um processo que objetiva obter máximo grau de concordância entre os tomadores de decisão, e para isso, abordagens multiobjetivo e / ou não lineares são utilizadas (LOPEZ *et al.*, 2017; IGOULALENE; BENYOUCEF; TIWARI, 2015). A complexidade desses tipos de problemas pode ser tratada por meio da aplicação de algoritmos evolutivos que apresentam uma alta eficiência com menor sensibilidade em relação ao tamanho do problema em comparação com as técnicas tradicionais (ALVAREZ *et al.*, 2015). O algoritmo genético (AG), ou em inglês *Genetic Algorithm* (GA) é um dos algoritmos evolutivos existentes que são utilizados como ferramenta de otimização (ABDELKADER; MARZOUK; ZAYED, 2019) e é a heurística mais comumente aplicada em problemas não lineares (WU *et al.*, 2018). Além disso, os estudos mais recentes sobre inferir parâmetros intercritérios são baseados em algoritmos evolutivos, principalmente algoritmo genético com otimização multiobjetivo (ALVAREZ *et al.*, 2020). Segundo Zhang, Gong e Chiclana (2017) o AG é uma técnica fundamental na computação inteligente moderna possibilitando uma ampla aplicação em problemas de otimização combinatória, aprendizado de máquina, entre outros. Sendo assim, outra limitação identificada nos trabalhos é a não utilização de algoritmos evolutivos para consenso e considerando um ambiente de hesitação que pode ser utilizado para definir pesos dos tomadores de decisão e importância dos critérios.

A proposta aqui apresentada é plausível de aplicação para tomadas de decisões em diferentes áreas. Uma área que exemplifica bem os tipos de tomada de decisão considerados como estratégicos é a seleção de ações voltadas para o desenvolvimento sustentável (LOZANO, 2015). O desenvolvimento sustentável é atualmente um dos campos científicos e práticos mais importantes para contribuir com o desenvolvimento da sociedade moderna (GHANNADPOUR *et al.*, 2021). Embora a análise econômica seja amplamente usada nos problemas de tomada de decisão, o desenvolvimento sustentável sugere também a consideração de fatores não econômicos (KHALILI-DAMGHANI *et al.*, 2013). Segundo Calabrese *et al.* (2019), a integração da sustentabilidade nas estratégias de negócios é fundamental para alcançar competitividade duradoura e bem-estar dos *stakeholders* e sociedade em geral. Além disso, estudos apresentam que abordagens estratégicas e

orientadas às partes interessadas para a sustentabilidade melhoram o desempenho das organizações (CAIRNS *et al.*, 2016; MICHELON *et al.*, 2013). Entretanto, poucas técnicas de tomada de decisão foram aplicadas nesse contexto (SREEKUMAR; RAJMOHAN, 2019), sendo que nenhuma busca considerar o consenso entre o grupo de tomadores de decisão. Além disso, não foram encontrados artigos que possibilitam a avaliação do tema utilizando representações de informação que permite a hesitação dos julgamentos. Dessa forma, é desejável que um modelo de tomada de decisão no contexto de avaliação e seleção de ações sustentáveis, seja capaz de considerar vários critérios, a opinião de vários tomadores de decisão e que seja capaz de lidar com dados imprecisos. Neste contexto, o problema de seleção de projetos sustentáveis é reconhecido como um ponto essencial para o plano de desenvolvimento sustentável de uma organização. Portanto, a eficácia dos planos de desenvolvimento sustentável de uma organização depende da sua capacidade de selecionar adequadamente os projetos sustentáveis alinhados com os objetivos da organização (ALYAMANI; LONG, 2020).

Para selecionar alternativas sustentáveis considerando-se o desempenho em relação aos critérios, várias técnicas multicritério podem ser utilizadas, tais como o PROMETHEE (Preference ranking organization method for enrichment evaluation), TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), ELECTRE (Élimination et Choix Traduisant la Réalité), TODIM (Tomada de Decisão Iterativa Multicritério), entre outras técnicas apresentados em revisões da literatura (NAVARRO; YEPES; MARTÍ, 2019; KUMAR *et al.*, 2017; POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2004). No entanto, em alguns problemas, deseja-se selecionar um conjunto de alternativas considerando restrições adicionais. Dessa forma, o PROMETHEE V foi proposto como uma extensão dos métodos PROMETHEE para lidar com este tipo de problemas (BRANS; DE SMET, 2016) e vêm sendo amplamente aplicado em problemas de seleção de projetos sustentáveis (MARTINS *et al.*, 2017; POHL *et al.*, 2020). Apesar das aplicações existentes do PROMETHEE V, não foram encontrados estudos que combinem esse método com abordagens de consenso e com a representação *Dual Hesitant Fuzzy Sets* para lidar com as hesitações dos julgamentos.

Os pontos comentados nos parágrafos anteriores explicitam a lacuna de pesquisa fundamental deste projeto: a necessidade da combinação de abordagens de consenso e de agregação de julgamentos nos modelos de decisões considerando a imprecisão dos julgamentos dos tomadores de decisão. Como não foram encontrados estudos que propõem modelos que combinem técnicas de consenso e técnicas de agregação dos julgamentos

individuais dos tomadores de decisão com a representação linguística *dual hesitant fuzzy sets*, esta tese busca propor um modelo de decisão estratégico combinando técnicas de consenso e técnicas de agregação de julgamentos, baseado em avaliações linguísticas na representação *dual hesitant fuzzy sets*. Em relação as técnicas de consenso, duas categorias de abordagens serão propostas em sequência. Inicialmente um método de estruturação de problemas será utilizado para identificar as alternativas e critérios que deverão ser avaliados. Esse método envolve uma abordagem de consenso baseado na discussão ou negociação entre os especialistas envolvidos. Já a segunda abordagem de consenso envolverá um processo iterativo de avaliação da compatibilidade entre os julgamentos dos tomadores de decisão. Para se alcançar melhores níveis de compatibilidade, um novo algoritmo genético é proposto focado em atualizar os pesos dos tomadores de decisão. Já em relação as técnicas de agregação, operadores de agregação próprios do desenvolvimento do DHFS serão utilizados para unificar as avaliações dos tomadores de decisão sobre o desempenho das alternativas em relação aos critérios. Por fim, a técnica multicritério PROMETHEE V é aplicada para a avaliação do desempenho de projetos de sustentabilidade e para a seleção do portfólio de projetos que possui maior potencial para aumentar o desempenho sustentável da organização de acordo com restrições existentes.

Ao serem abordadas as lacunas apresentadas, entende-se que essa proposta de modelo de decisão tem potencial de subsidiar de forma mais adequada o processo de tomada de decisão estratégico. Porém, apesar da aplicação piloto apresentada pelo estudo ter um foco na seleção de projetos sustentáveis, o modelo proposto também pode ter sua aplicação expandida para outros problemas de tomada de decisão que necessitam lidar com as etapas de consenso e agregação de julgamentos e que desejam considerar imprecisões nos julgamentos, conforme será detalhado nas próximas seções.

1.2 OBJETIVOS

Como indicado na introdução deste documento, o objetivo geral deste projeto de doutorado é propor um modelo de tomada de decisão em grupo combinando as abordagens de consenso e de agregação de julgamentos e considerando diferentes fontes de imprecisão dos julgamentos. Inicialmente, métodos de estruturação de problemas podem ser aplicados para a identificação de objetivos, alternativas, critérios e tomadores de decisão. Em seguida, a abordagem de avaliação de compatibilidade entre tomadores de decisão foi combinada com a proposta de um algoritmo genético para ponderação de pesos dos tomadores de decisão e, conseqüentemente, dos critérios. Técnicas de agregação de julgamentos serão aplicadas para a obtenção do desempenho das alternativas em relação aos critérios. Finalmente, a técnica multicritério PROMETHEE V foi aplicada para selecionar as alternativas de projetos sustentáveis que possuem maior potencial de elevar o desenvolvimento sustentável da organização. Para representar as imprecisões inerentes ao processo de decisão, em ambas as etapas, de consenso e agregação de julgamento, se propõe o uso da representação de informação *dual hesitant fuzzy sets* que permite a realização de julgamentos com diferentes tipos de hesitação e utilizando frases completas. Além disso, uma aplicação piloto foi desenvolvida com o intuito de exemplificar e avaliar o modelo proposto. Esse objetivo geral pode ser desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- I) Realização de revisões bibliográficas para levantar lacunas relacionadas às aplicações de técnica baseadas em consenso, teoria *dual hesitant fuzzy sets*, ações estratégicas sustentáveis e algoritmos evolutivos aplicados à tomada de decisão em grupo. Dessa forma, foi apresentado o estado da arte e o constructo teórico que embasa o estudo apresentado.
- II) Identificação das técnicas adequadas para tomada de decisão em grupo em cada etapa do processo de tomada de decisão levantado.
- III) Estruturação e detalhamento do modelo de tomada de decisão, considerando as fases de elucidação do problema, consenso e agregação de julgamentos nas diferentes etapas do processo decisório;
- IV) Implementação computacional do algoritmo genético proposto para a busca do consenso; dos operadores de agregação DHFS utilizados para unificar os

juízos dos tomadores de decisão e; da técnica multicritério PROMETHEE V para seleção do portfólio de projetos sustentáveis;

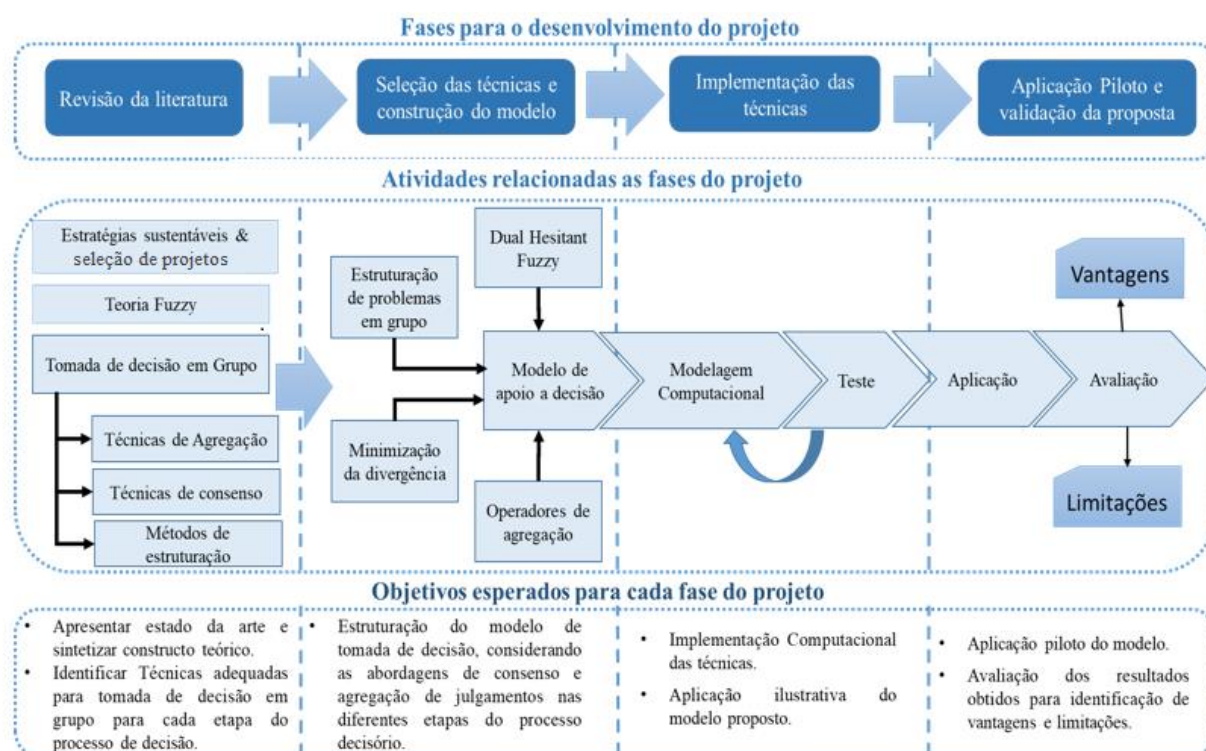
- V) Aplicação ilustrativa das diferentes abordagens sendo consideradas para o desenvolvimento do modelo proposto;
- VI) Aplicação piloto em uma organização para exemplificação e avaliação do modelo proposto;
- VII) Identificação das vantagens e limitações do modelo proposto por meio dos resultados obtidos em testes computacionais e análises de sensibilidade.

1.3 MÉTODOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

O presente estudo pode ser caracterizado como uma pesquisa quantitativa axiomática e prescritiva. A pesquisa é axiomática porque objetiva desenvolver um modelo quantitativo que simule o comportamento de uma variável em função de outras variáveis (BERTRAND; FRANSOO, 2016). No caso em questão, o modelo procura relacionar o desempenho de alternativas com critérios e juízos subjetivos de tomadores de decisão. Além do mais, a pesquisa é prescritiva, pois um modelo é proposto e desenvolvido baseado nas necessidades identificadas do problema de seleção e avaliação de alternativas considerando o processo de tomada de decisão em grupo (BERTRAND; FRANSOO, 2016). Desta forma, o modelo proposto pretende combinar técnicas de consenso e técnicas baseadas na agregação dos juízos.

O desenvolvimento da pesquisa de doutorado se constitui de quatro fases representadas pela Figura 1 e que serão detalhadas a seguir: revisão sistemática da literatura; desenvolvimento do modelo teórico; aplicação do modelo teórico e análise dos resultados.

Figura 1 - Etapas para o desenvolvimento do projeto.



Fonte: própria autoria.

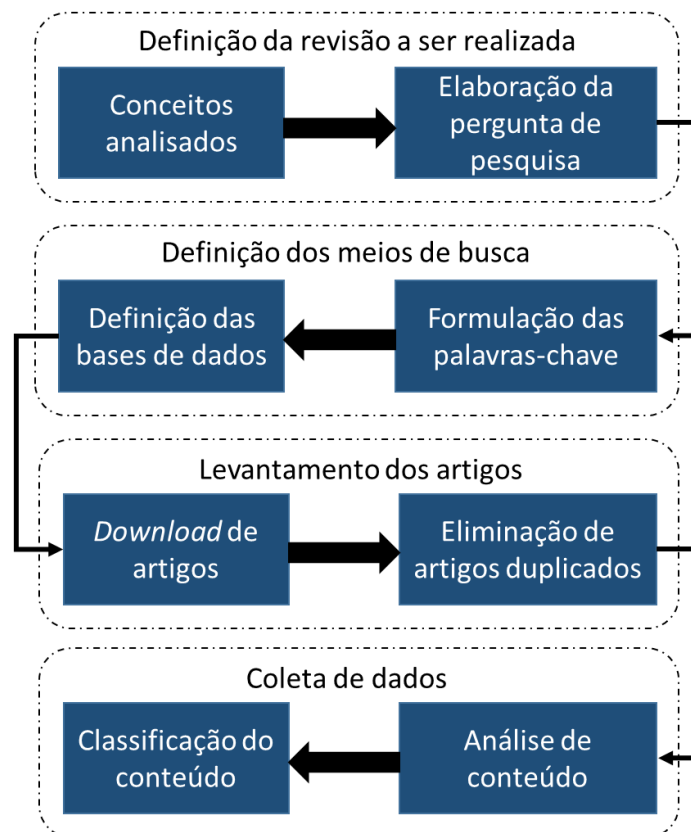
Na primeira etapa do projeto foram realizadas revisões sistemáticas e exploratórias a fim de desenvolver o embasamento teórico da pesquisa. As revisões sistemáticas diferem das análises narrativas e exploratórias, adotando um processo replicável, científico e transparente (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003). Os procedimentos de pesquisa são descritos a seguir e foram embasados nos passos apresentados por Sampaio e Mancini (2007): Conforme apresentado pela Figura 2, o processo de revisão da literatura pode ser separado em quatro etapas descritas a seguir:

- **Definição da revisão a ser realizada:** essa etapa envolve a definição de escopo dos conceitos analisados para identificar qual o objetivo desejado com a realização da revisão sistemática. Baseado nesse escopo, uma pergunta de pesquisa é elaborada para guiar o desenvolvimento do levantamento bibliográfico.
- **Definição dos meios de busca:** engloba a definição das palavras chave e seleção das bases de dados utilizadas. O conjunto de palavras que compõe as palavras-chave de busca serão desenvolvidas de acordo com a pergunta de pesquisa que se deseja responder. Para a coleta dos artigos, serão utilizadas as bases de dados *Web of Science* (apps.webofknowledge.com), *SCOPUS* (www.scopus.com) e

EMERALD (www.emeraldinsight.com) devido ao seu vasto acervo relacionado à gestão de operações.

- Levantamento dos artigos: a terceira etapa envolve o download de todos os artigos de periódicos, congressos e livros de todas as bases de dados utilizadas, seguida pela eliminação dos artigos duplicados, ou seja, os artigos que aparecem em mais de uma base de dado serão contabilizados e avaliados uma única vez.
- Coleta de dados: essa etapa aborda a análise de conteúdo dos artigos e sua classificação. Para isso, inicialmente o título, resumo e palavras-chave de cada artigo serão avaliados para remoção dos artigos fora do escopo de pesquisa. No caso de dúvidas, as seções seguintes serão avaliadas. Os dados contidos nos artigos serão classificados conforme a informação que se deseja levantar em cada revisão sistemática.

Figura 2 - Etapas gerais para o processo de revisão sistemática.



Fonte: própria autoria.

A segunda etapa da pesquisa abrange o desenvolvimento de um modelo de tomada de decisão em grupo, em conjunto com a seleção e estudo das técnicas resultantes da revisão da literatura. Técnicas de consenso baseadas na estruturação de problemas e na minimização da divergência entre os julgamentos dos tomadores de decisão devem ser utilizados para a fase de elicitação das variáveis de entrada do modelo. A elicitação consiste no processo da definição dos critérios e seus respectivos pesos, seleção dos tomadores de decisão e suas importâncias e definição das variáveis linguísticas que serão utilizadas nos julgamentos. Já na segunda etapa do modelo de decisão, técnicas baseadas nos operadores de agregação deverão ser utilizadas para a construção de uma matriz agregada de tomada de decisão em grupo, o qual busca considerar diferentes percepções dos tomadores de decisão. Em ambas as etapas, a teoria *Dual Hesitant Fuzzy Sets* será utilizada para garantir a representação da hesitação e subjetividade dos julgamentos que serão coletados dos tomadores de decisão. As saídas desta etapa serão utilizadas como entradas para a modelagem computacional.

A terceira etapa contempla a modelagem e simulação computacional integrando as técnicas de consenso, algoritmo genético, agregação de julgamentos e o modelo de tomada de decisão em grupo. Testes computacionais serão realizados com o intuito de verificar se o modelo computacional atende as necessidades do problema de seleção de ações estratégicas sustentáveis. Nesses testes, diferentes cenários de tomada de decisão serão avaliados, modificando-se o número de tomadores de decisão, o número de critérios e o grau de hesitação considerado. Como resultado desta etapa é esperado a obtenção de uma aplicação em MATLAB[®] capaz de executar o algoritmo desenvolvido.

A quarta etapa envolve a aplicação piloto do modelo proposto em uma empresa que possua o processo de avaliação de ações sustentáveis. A coleta de dados será realizada por meio de aplicação de um questionário estruturado, que apresentará variáveis linguísticas a fim de auxiliar a avaliação e seleção das alternativas de ações sustentáveis. Serão selecionados colaboradores com experiência prévia e proximidade com o processo de tomada de decisão em gestão de ações sustentáveis. Finalmente, serão avaliados os resultados e o modelo proposto, bem como suas vantagens, limitações e sensibilidade.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

A presente tese está organizada conforme a descrição a seguir. No primeiro capítulo, a introdução apresentou o contexto atual na qual a pesquisa está inserida e que se faz necessária à aplicação de novos estudos para o preenchimento de lacunas identificadas na literatura. Em seguida foram apresentados o objetivo geral da tese e seus objetivos específicos almejados com o desenvolvimento do projeto de doutorado. Logo após, são elucidados os métodos utilizados para o desenvolvimento do estudo e que buscam orientar os passos que foram utilizados para cumprir os objetivos propostos. Ao final do capítulo, a estruturação do texto descreve brevemente o que o leitor deverá encontrar em cada capítulo ao longo da tese.

O Capítulo 2 busca apresentar uma parte da revisão bibliográfica acerca do processo de tomada de decisão em grupo. Inicialmente, são apresentados métodos de estruturação de problemas. Em seguida, uma revisão sistemática é realizada com o propósito de identificar as técnicas mais utilizadas na tomada de decisão em grupo para consenso. Posteriormente, a abordagem DHFS é detalhada apresentando-se seus conceitos básicos, termos linguísticos, operadores de agregação, relações de preferência e um levantamento sistemático das aplicações existentes. Além disso, uma revisão sistemática sobre a utilização de algoritmos evolutivos na tomada de decisão em grupo é apresentada. Finalmente, a metaheurística de algoritmo genético é detalhada para utilização como método de consenso.

O Capítulo 3 discorre sobre sustentabilidade na cadeia de fornecimento, apresentando uma visão geral e definições importantes para compreensão do tema. Já na segunda subseção, uma revisão é realizada para levantar o estado da arte referente as estratégias sustentáveis adotadas na cadeia de suprimentos.

O Capítulo 4 compreende a apresentação do modelo de tomada de decisão proposto. Nesta seção, a estrutura do modelo é detalhada em três fases principais, sendo estas: estruturação do problema; consenso entre os tomadores de decisão e tomada de decisão por meio da agregação dos julgamentos individuais.

O Capítulo 5 apresenta uma aplicação ilustrativa para elucidar a utilização do modelo proposto no capítulo anterior. A aplicação ilustrativa considerou um caso de

seleção de ações sustentáveis para mitigar os impactos gerados pelos processos de uma empresa de mineração e siderurgia.

O Capítulo 6 descreve testes computacionais realizados para avaliar o algoritmo genético proposto. Para isso, um gerador de instâncias foi desenvolvido para criar diferentes cenários de tomada de decisão, variando-se o número de critérios, tomadores de decisão e nível de hesitação. Cada cenário criado foi executado 10 vezes no AG e os resultados foram apresentados e discutidos. Além disso, uma comparação com um algoritmo PSO (*Particle Swarm Optimization*) é apresentado para verificar a eficiência do algoritmo genético proposto.

Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões com as implicações teóricas e práticas do modelo de decisão proposto. Ademais, são apresentadas as limitações, desafios e as oportunidades de estudos futuros identificados com o desenvolvimento da presente tese.

2. APÓIO À TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO

A tomada de decisão de grupo (*Group Decision Making - GDM*) é uma atividade humana comum e crucial, pela qual dois ou mais especialistas (*Decision Makers - DM*) podem lidar com complexos problemas de decisão, envolvendo atributos conflitantes e não comensuráveis (YUE, 2014). Durante a resolução de um problema de tomada de decisão em grupo, deve-se considerar o grau de incerteza, o número de tomadores de decisão e a natureza dos critérios. Para isso, os tomadores de decisão costumam expressar suas preferências em alternativas ou em atributos existentes, que podem ser usados para classificar, categorizar ou selecionar as alternativas mais desejáveis (SCOTT *et al.*, 2015; WANG; ZHENG; ZHANG, 2013; ZHANG *et al.*, 2009). Dessa forma, estudos vêm propondo novas abordagens de tomada de decisão em grupo para lidar com diferentes tipos de necessidades do problema, tais como a necessidade de buscar a concordância entre os tomadores de decisão, consideração de diferentes tipos de hesitação nos julgamentos e a necessidade de considerar opiniões conflitantes.

O presente capítulo apresenta diferentes abordagens aplicadas no processo de tomada de decisão em grupo. A Seção 2.1 apresenta vários métodos de estruturação de problemas que são usualmente aplicados para proporcionar uma maior compreensão dos problemas e elucidação de possíveis alternativas e ações. A Seção 2.2 discorre sobre a aplicação de técnicas baseadas nas representações de informação *fuzzy* para lidar com a imprecisão dos julgamentos. Para tratar problemas que necessitam de concordância entre os tomadores de decisão, a Seção 2.3 apresenta um levantamento sobre técnicas de consenso. A representação de informação *Dual Hesitant Fuzzy Sets* é detalhada na Seção 2.4 devido sua capacidade de lidar com diferentes hesitações nos julgamentos, e assim, ser capaz de tratar diferentes origens de incertezas. A Seção 2.5 apresenta um levantamento sobre a aplicação de algoritmos evolutivos na tomada de decisão em grupo. Finalmente, a Seção 2.6 detalha o algoritmo genético como sendo o algoritmo selecionado para integrar a busca de consenso com a não linearidade das operações de agregação DHFS. Sendo assim, essas abordagens serão posteriormente combinadas para a estruturação de um modelo de tomada de decisão que será apresentado no Capítulo 4 e que abranje as lacunas previamente apontadas pela Introdução deste estudo.

2.1. MÉTODOS DE ESTRUTURAÇÃO EM GRUPO PARA MCDA

De uma forma geral, a literatura de técnicas multicritério para tomada de decisão foca mais na solução da aplicação das técnicas e pouca atenção é dada para a estruturação de problemas. Porém, a estruturação de um problema é apresentada como uma fase de intervenção essencial para possibilitar a adequada análise de um problema MCDA, e para isso, métodos de estruturação são utilizados (FRANCO; MONTIBELLER, 2010).

Os métodos de estruturação de problemas, conhecidos como *Problem Structuring Methods* (PSMs), são abordagens utilizadas para apoiar o processo de tomada de decisão em grupo, permitindo que tomadores de decisão envolvidos estruturam um problema e proponham possíveis ações (CUNHA; MORAIS, 2019). Tais métodos pertencem as abordagens de pesquisa operacional classificadas como *soft*, que são aplicados para problemas complexos que envolvem a integração de diferentes percepções dos tomadores de decisão, considerando possíveis divergências e imprecisões (DE ALMEIDA *et al.*, 2012).

O papel da estruturação de problemas para MCDA pode ser o de fornecer uma representação detalhada de uma situação problema, com o objetivo de permitir uma análise multicritério eficaz; ou pode ser o de problematizar uma decisão que é inicialmente apresentada de uma forma simplista (BELTON; STEWART, 2010). Os PSMs contribuem para um melhor entendimento sobre o problema por meio de um processo de aprendizado iterativo, podendo ser combinado com outras metodologias para resolver o problema em questão (MARTTUNEN; LIENERT; BELTON, 2017). Nos estudos que aplicam técnicas multicritérios para tomada de decisão, os PSMs vêm sendo aplicados para identificar e selecionar os objetivos, alternativas, critérios de decisão e tomadores de decisão (CUOGHI; LEONETI, 2019; BELTON; STEWART, 2010; FRANCO; MONTIBELLER, 2010). Existem vários PSMs disponíveis na literatura, porém os mais conhecidos e aplicados são: *Strategic Options Development* (SODA), *Soft Systems Methodology* (SSM), *Strategic Choice Approach* (SCA), *Robustness Analysis* (RA) e *Value-Focused Thinking* (VFT) (CUNHA; MORAIS, 2019; MEDEIROS *et al.*, 2017). Estes métodos serão melhor discutidos nas subseções a seguir.

2.1.1. Strategic Options Development and analysis (SODA)

Proposto inicialmente por Eden (1988), o desenvolvimento e análise de opções estratégicas (*Strategic options development and analysis*) representado pela sigla SODA, permite que um grupo ou um indivíduo construa uma representação gráfica de uma situação problemática complexa para auxiliar um processo de tomada de decisão (ACKERMANN; EDEN, 2010). As teorias que embasam a metodologia SODA derivam da psicologia cognitiva e da negociação social que são moldadas de acordo com os pontos de vistas dos tomadores de decisão envolvidos no problema a ser solucionado (EDEN; ACKERMANN, 2006). O método combina o uso de mapas cognitivos bipolares e workshops, que ajudam a entender e incorporar as percepções dos indivíduos em relação a um problema. Dessa forma, o método visa ajudar os grupos a chegarem a um acordo negociado sobre como agir para resolver a situação (MEDEIROS *et al.*, 2017).

Conforme apresentado por De Almeida *et al.* (2012), existem duas abordagens básicas de aplicação do SODA para estruturação de problemas de tomada de decisão em grupo, sendo estas:

- Geração individual de mapas cognitivos que depois serão agregados em um único mapa cognitivo realizado por um mediador. Neste caso, o mediador deve utilizar o bom senso para captar as relações definidas pelos tomadores de decisão e assim conseguir compilar as ideias em um mapa final. Após isso, um workshop é realizado para apresentação do mapa cognitivo que foi construído e discussão sobre os resultados para o auxílio na tomada de decisão.
- Geração de um único mapa cognitivo com a participação de todos os tomadores de decisão. Neste caso, um workshop é realizado com todos os participantes que interagem entre si para formarem o mapa cognitivo que represente o problema abordado. Esta abordagem acaba envolvendo um processo maior de discussão e negociação entre os tomadores de decisão, sendo necessário uma mediação para criar um processo cíclico que permita a aprendizagem dos envolvidos.

Um mapa cognitivo é uma rede composta por nós conectados por setas direcionadas que representam uma causalidade (EDEN; ACKERMANN, 2006). A construção de um

mapa cognitivo normalmente utiliza algumas regras formais: os nós são projetados por pequenos textos que posteriormente são conectados entre si por setas unidirecionais. Geralmente, uma afirmação no início de uma seta é considerada a causa ou influência para a ocorrência de uma afirmação na cabeça da mesma seta (CUNHA; MORAIS, 2019). Conforme representado pela Figura 3, o atraso no fornecimento de matéria-prima afeta a programação da produção ocasionando o atraso na produção de um determinado produto.

Figura 3 - Exemplo de uma relação causa e efeito.



Fonte: própria autoria.

Guarnieri, Silva e Levino (2016) destacam que a aplicação do SODA envolve quatro perspectivas essenciais: (I) uma perspectiva individual, em que percepções, experiências, objetivos individuais e o subjetivismo dos tomadores de decisão são capturados para estruturar o problema; (II) a perspectiva de natureza organizacional que governa políticas, negociações e coalizões do contexto da decisão; (III) a perspectiva do facilitador responsável pela implementação da metodologia; e (IV) a perspectiva da técnica e da tecnologia, que trabalha como um auxílio de mapeamento cognitivo computacional.

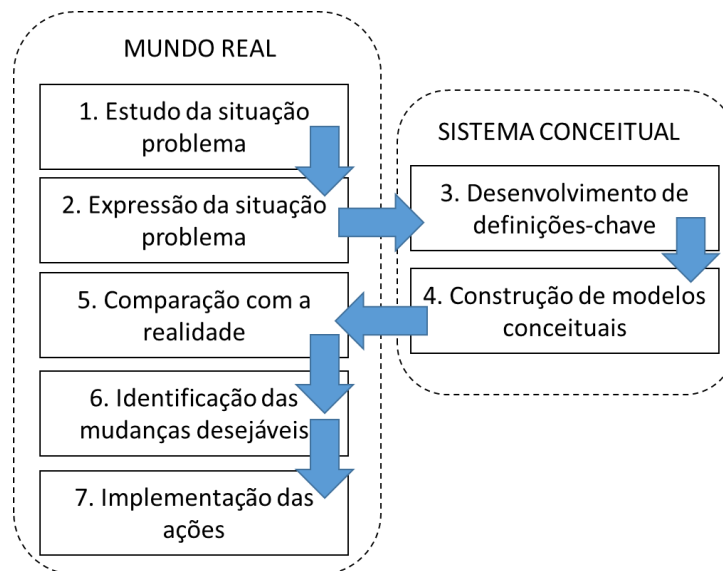
Trabalhos recentes vêm aplicando o SODA para a elicitação de soluções estratégicas para importantes problemas com tomada de decisão envolvendo vários especialistas, tais como: o gerenciamento e distribuição de água (SCHRAMM; SCHRAMM, 2018; CAMBRAINHA; FONTANA, 2018; MEDEIROS *et al.*, 2017), logística reversa de resíduos (GUARNIERI *et al.*, 2016), políticas públicas (FONTANA; MORAIS, 2013) entre outros (DE ALMEIDA *et al.*, 2012).

2.1.2. Soft Systems Methodology (SSM)

A metodologia SSM (*Soft Systems Methodology*) foi desenvolvida inicialmente por Checkland (1972) como uma alternativa ao uso da engenharia de sistemas (PALA *et al.*, 2013). De uma forma geral, o SSM é um método qualitativo utilizado para o redesenho de sistemas a partir de modelos conceituais ideais de acordo com diferentes pontos de vistas que devem ser considerados (CUNHA; MORAIS, 2019). O SSM é aplicado principalmente na análise de situações complexas em que existem visões divergentes sobre a definição do problema, ou seja, onde existem relações não lineares, ciclos de feedback, hierarquias e propriedades emergentes que devem ser considerados no processo de tomada de decisão (KAMARI *et al.*, 2019). Desta forma, o método é usado como um sistema de aprendizado iterativo que busca levantar soluções e propor ações para melhorias na situação que pareçam apropriadas para o grupo de tomadores de decisão (CUNHA; MORAIS, 2019).

As aplicações mais detalhadas do método SSM seguem sete etapas, destas, cinco estão associadas ao mundo real e duas etapas ao pensamento sistêmico, conforme apresentado na Figura 4 (DE ALMEIDA *et al.*, 2012; SIDDIQUI; TRIPATHI, 2011). As etapas associadas ao mundo real buscam a compreensão do problema e apresentação de recomendações e alterações implementáveis para melhorar a situação do problema. Já nas etapas associadas ao pensamento sistêmico, modelos conceituais são desenvolvidos para serem comparados com os parâmetros de realidade (CUNHA; MORAIS, 2019). As etapas do método são detalhadas a seguir (DE ALMEIDA *et al.*, 2012; SIDDIQUI; TRIPATHI, 2011):

- Etapa 1 – Estudo da situação problema: o objetivo desta etapa é detalhar ao máximo a situação sendo analisada, por meio da coleta de informações que caracterizem a cultura organizacional, os fluxos de informações, os processos de tomada de decisão, entre outros aspectos que podem ser utilizados para representar a situação analisada. Como exemplo de técnicas que podem ser utilizadas temos entrevistas, brainstorming, discussões em grupo, coleta de dados secundários, entre outras.

Figura 4 - Etapas do método SSM.

Fonte: Adaptado de Checkland (2012).

- Etapa 2 – Expressão da situação problema: nesta etapa busca-se a definição da situação em que o problema ocorre. Uma “figura rica” (imagem detalhada que represente todas as informações do problema) pode ser utilizada para maior detalhamento sobre a estrutura, processos e seus inter-relacionamentos considerando os principais atores envolvidos.
- Etapa 3 – Desenvolvimento de definições-chave: esta etapa busca elaborar as definições essenciais (*root definitions*) do sistema avaliado. Essas definições estão relacionadas à competência central de uma atividade humana e seus componentes envolvidos, sendo estes: clientes ou beneficiários do sistema, executores das atividades, transformação realizadas pelas atividades, ponto de vista que dá sentido à definição, proprietário responsável pela atividade e as restrições externas do ambiente. Essas definições são representadas pela sigla CATWOE - *Customers, Actors, Transformation process, Worldview, Owners e Enviromental constraints* (CHECKLAND; POULTER, 2010).
- Etapa 4 – Construção de modelos conceituais: nesta etapa é desenvolvido um modelo representado por um diagrama de atividades conectados entre si, de acordo com dependências lógicas e as definições-chave encontradas na etapa anterior.
- Etapa 5 - Comparação com a realidade: o objetivo desta etapa é comparar os modelos conceituais desenvolvidos com a situação do mundo real. Espera-se

identificar diferenças, semelhanças e lacunas. Sendo assim, o modelo pode ser modificado para torná-lo ideal para melhorar a situação.

- Etapa 6 – Identificação das mudanças desejáveis: As mudanças propostas no estágio anterior são analisadas de acordo com sua viabilidade de implementação. São duas as condições de mudanças: se são sistematicamente desejáveis e se são culturalmente viáveis.
- Etapa 7 – Implementação das ações: por fim, esta etapa visa colocar em prática as alterações mais apropriadas identificadas na etapa anterior.

Estudos recentes vêm utilizando o método SSM para problemas estratégicos de tomada de decisão em grupo, tais como: renovação sustentável (KAMARI *et al.*, 2019), renovação urbana (TAVELLA; LAMI, 2019) e elaboração de plano nacional de saneamento público (CUNHA; MORAIS, 2013). Além disso, o SSM pode ser aplicado de maneiras variadas, sendo parcialmente ou integralmente aplicado e em conjunto ou não com outros métodos de auxílio à tomada de decisão (TAVELLA; LAMI, 2019).

2.1.3. Strategic Choice Approach (SCA)

O método de escolha estratégica, conhecido como *Strategic Choice Approach* (SCA), teve o início do seu desenvolvimento em problemas de decisão estratégica nas décadas de 60 e 70 (FRIEND, 1992), posteriormente detalhado por Friend e Hickling (1997). O SCA é uma abordagem com foco no estudo de situações estratégicas que necessitam lidar com incertezas (DE ALMEIDA *et al.*, 2012). Como combina uma preocupação com a complexidade dos problemas e enfatiza a determinação em tempo real, o SCA foi descrito como uma abordagem indicada para o planejamento sob pressão (SCHOTTEN; MORAIS, 2019).

A SCA é apresentada como um método que ajuda as partes interessadas a enfrentar o desafio do planejamento em um mundo incerto, em que o planejamento é percebido como um processo de escolha estratégica ao longo do tempo (TAVELLA; LAMI, 2019). A característica mais marcante dessa abordagem é que ela ajuda as pessoas que trabalham juntas a obter um progresso mais confiante nas decisões, concentrando sua atenção em

possíveis maneiras de gerenciar a incerteza sobre o que devem fazer em seguida (SIDDIQUI; TRIPATHI, 2011).

Segundo Friend (1992), existem três elementos centrais que são utilizados para a análise e estruturação de problemas no SCA, sendo estes: as áreas de decisão que são envolvidas com o problema, os critérios que serão utilizados como base de comparação (denominados área de comparação) e, a incerteza advinda de qualquer dúvida ou desacordo que afete a tomada de decisão.

No SCA as áreas de incerteza são classificadas em três grandes categorias, dependendo do tipo de ação que é considerada mais apropriada para sua gestão (SIDDIQUI; TRIPATHI, 2011; FRIEND, 1992):

- Incertezas relacionadas ao ambiente de trabalho: tais incertezas exigem uma resposta técnica, na forma de algum tipo de investigação (pesquisa, análise, previsão, modelagem etc.).
- Incertezas relacionadas aos valores orientadores: tais incertezas exigem uma resposta na forma de algum tipo de atividade de esclarecimento de políticas (formulação de objetivos, gestão de conflitos, consulta com representantes das principais partes interessadas, etc.).
- Incertezas relacionadas às decisões relacionadas sobre escolhas fora dos limites do campo do problema que está sendo tratado atualmente: tais incertezas exigem uma resposta na forma de algum tipo de negociação, colaboração ou planejamento em conjunto entre os departamentos.

A estrutura do SCA é composta por quatro estágios, também chamados de modos complementares de tomada de decisão, conforme apresentado a seguir (SCHOTTEN; MORAIS, 2019; DE ALMEIDA *et al.*, 2012):

- Modelando (*shaping mode*): os tomadores de decisão discutem o conjunto de áreas de decisão que devem ser considerados. Nesse estágio, há preocupações sobre como as escolhas devem ser feitas, até que ponto uma decisão deve ser tomada e como as áreas de decisão estão relacionadas entre si.
- Projetando (*designing mode*): nesta etapa os tomadores de decisão debatem se existem opções suficientes ou restrições técnicas e políticas que impedem uma combinação das opções de áreas de decisão. Desta forma, as alternativas são

definidas pela combinação das opções de decisão viável e são definidas opções para cada área de decisão.

- Comparando (*comparing mode*): uma discussão é realizada entre os tomadores de decisão sobre como as implicações de diferentes alternativas devem ser comparadas. Nesta etapa, vários critérios ou áreas de comparação são utilizados e os tomadores de decisão discutem como as avaliações de alternativas devem ser realizadas.
- Escolhendo (*choosing mode*): caracterizada pelo foco no comprometimento das ações previstas nas alternativas viáveis ao longo do tempo. A preocupação nesta fase está em como o processo futuro pode ser gerenciado diante das incertezas.

2.1.4. Robustness Analysis (RA)

Apresentado inicialmente por Gupta e Rosenhead (1968), a Análise de Robustez, conhecida como Robustness Analysis (RA), é uma metodologia de estruturação de problemas focada na avaliação de decisões estratégicas. Os conceitos básicos e definições dos elementos que compõem o RA foram rigorosamente definidos por Wong e Rosenhead (2000). A análise de robustez é uma abordagem que tem por objetivo manter a flexibilidade útil sob incertezas (MINGERS; ROSENHEAD, 2004). A flexibilidade estratégica consiste na capacidade de tomar uma variedade de decisões subsequentes que definem diferentes configurações de recursos para o sistema como um todo (ROSENHEAD, 1980).

Em um processo iterativo, os tomadores de decisão avaliam tanto a compatibilidade de compromissos iniciais alternativos com possíveis configurações futuras do sistema que estão sendo planejadas, quanto o desempenho de cada configuração em ambientes futuros com possíveis incertezas (MINGERS; ROSENHEAD, 2004). A análise de robustez fornece uma estrutura geral para a estruturação de informações de maneira a trazer a manutenção ou o abandono da flexibilidade. Dentro dessa estrutura, quais formulações específicas serão mais úteis dependerão das características da situação de decisão e o nível de incerteza (ROSENHEAD, 1980).

A entrada para a fase de análise de robustez é, para cada futuro identificado, um conjunto de caminhos de decisão viáveis, juntamente com previsões de seu desempenho em cada uma das medidas de efeito estabelecidas (ROSENHEAD, 1980). O processo de robustez é apenas hipotético; permite que os tomadores de decisão pensem

consensualmente sobre o que devem fazer se um compromisso específico for escolhido e avaliem a viabilidade desse compromisso sob diferentes cenários e futuros possíveis (DRIOUCHI *et al.*, 2009).

O processo geral do RA pode ser descrito conforme se segue (DRIOUCHI *et al.*, 2009; WONG; ROSENHEAD, 2000). Suponha-se que exista um conjunto S composto de N decisões estratégicas iniciais $C_i \{i = 1, 2, \dots, N\}$, que devem ser planejadas em um determinado tempo. Então o objetivo é avaliar a robustez $r_{ij} \{i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M\}$ de uma decisão estratégica C_i em relação ao conjunto de futuros viáveis $F = f_j \{j = 1, 2, \dots, M\}$. Para isso, define-se U como o conjunto de futuras decisões disponíveis $D_l \{l = 1, 2, \dots, L\}$ específicas ao compromisso inicial C_i e as decisões desejáveis de compromisso C_i acerca de cada futuro f_j são definidas como $U^+ = \{A_{ij}\}$ com $U^+ \subset U \forall i, j$. Portanto, os seguintes passos compõem o RA:

- Determinação dos cenários de compromisso possíveis e seleção do conjunto de configurações finais de ocorrências U .
- Determinação de um valor para cada uma das configurações finais, possibilitando a identificação de estados de configuração final desejáveis e os indesejáveis.
- Avaliação sobre o conjunto de todos os possíveis cenários de comprometimento inicial para identificar o subconjunto das configurações U^+ desejáveis ou aceitáveis realizada pelos tomadores de decisão.
- Definição de uma pontuação que represente a robustez r_{ij} para cada conjunto de compromisso inicial. Essa pontuação é calculada como a razão do número de configurações desejáveis e que são atingíveis U^+ pelo conjunto de compromisso com o número total de configurações possíveis U .
- Priorização dos compromissos iniciais de acordo com a pontuação de robustez definida. O compromisso com a maior pontuação corresponde às decisões que devem ser implementadas imediatamente.

De acordo com a percepção atual de incerteza gerada pelos tomadores de decisão, espera-se que por meio desse procedimento somente sejam priorizados compromissos estritamente necessários e associados às configurações finais mais promissoras (DRIOUCHI *et al.*, 2009).

2.1.5. *Value-Focused Thinking* (VFT)

Os métodos de estruturação de problemas apresentados anteriormente possuem como uma das principais características a avaliação das alternativas previamente definidas, podendo ser caracterizado como métodos de *Alternative-Focused Thinking* (DE ALMEIDA *et al.*, 2012). Por outro lado, o *Value Focused Thinking* (VFT) proposto por Keeney (1992), é um método focado no valor. A abordagem VFT foi projetada para ajudar indivíduos ou grupos de tomadores de decisão a identificar e considerar os elementos relevantes para o contexto do problema analisado, como por exemplo, valores e interesses (FRANCO *et al.*, 2016).

Usando o método VFT, todas as ideias, propostas e opiniões possíveis são reunidas para uma situação de decisão e os objetivos da decisão são identificados de acordo com os valores especificados por meio de entrevistas realizadas com os tomadores de decisão (ESKAFI *et al.*, 2019). Os valores podem ser propósitos, desejos, preocupações e contribuições importantes que são mais importantes para os *stakeholders* e podem ser levados em consideração pelos tomadores de decisão (KEENEY, 1992).

Um ponto chave no desenvolvimento do VFT é a criação de uma hierarquia distinguindo objetivos “meios” dos objetivos “fundamentais” por meio de relações de causa e efeito (FRANCO *et al.*, 2016; CHAMBAL *et al.*, 2011). Um objetivo é considerado um objetivo “meio” se ajudar a alcançar melhor algum outro objetivo de alto nível; se o objetivo representa algo importante em si mesmo, então este é um objetivo tido como “fundamental” (FRANCO *et al.*, 2016). Desta forma, os objetivos “meios” são caracterizados como ações (ou maneiras) que precisam ser implementadas para alcançar um objetivo “fundamental” (ESKAFI *et al.*, 2019). O principal resultado do processo de modelagem é um mapa de objetivos interligados, que podem ser usados para informar a a opinião do grupo de tomadores de decisão (FRANCO *et al.*, 2016).

Segundo Keeney (1996), existe vários processos para guiar a aplicação do VFT em quatro etapas básicas:

- Identificação dos objetivos: várias técnicas podem ser aplicadas para elaboração de uma lista inicial dos objetivos por meio de discussões entre os

tomadores de decisão. O Quadro 1 apresenta algumas técnicas que podem ser aplicadas na identificação desses objetivos iniciais.

Quadro 1 - Técnicas utilizadas para identificar objetivos.

Lista de desejos	O que você quer? O que você valoriza?
Alternativas	O que seria uma alternativa perfeita? O que seria uma alternativa indesejável? Existe alguma alternativa razoável? O que é bom e ruim em cada alternativa?
Problemas e limitações	O que está certo ou errado com a organização? O que precisa ser melhorado?
Consequências	O que está acontecendo que é bom ou ruim? O que pode acontecer com o que você se importa?
Objetivos, restrições e direcionadores	Quais são seus anseios? Quais limitações são colocadas sobre você?
Perspectivas diferentes	O que seus competidores ou seu eleitorado se importam? Em algum tempo, no futuro, o que pode te importar?
Objetivos estratégicos	Quais são seus objetivos finais? Quais são seus valores que são absolutamente fundamentais?
Objetivos genéricos	Quais objetivos você possui para seus clientes, empregados, acionistas e para você? Quais objetivos ambientais, sociais, econômicos, de saúde ou segurança são importantes?
Estruturação de objetivos	Buscar os objetivos meio relacionados: por que aquele objetivo é importante? Como é possível alcançá-lo?
Quantificação de objetivos	Como você pode medir a chegada nesse objetivo? Por que um objetivo é mais importante do que o outro?

Fonte: Adaptado de Keeney (1996).

- Estruturação dos objetivos: a lista inicial de objetivos criada na etapa anterior pode apresentar elementos que não são realmente objetivos, tais como alternativas, critérios e restrições. Esses elementos podem ser convertidos em objetivos por meio de discussões e os objetivos identificados são categorizados em objetivos “meios” e objetivos “fundamentais” (também chamados de objetivos “finais”).
- Criação de alternativas: baseado em cada objetivo identificado, os tomadores de decisão devem pensar em possíveis alternativas desejáveis para alcançar

esse objetivo. Em seguida, as alternativas identificadas para cada objetivo podem ser analisadas considerando os demais objetivos para verificação de sua viabilidade.

- Oportunidades de decisão: os objetivos são avaliados para identificação das melhores oportunidades de decisões. Para isso, os tomadores de decisão devem desenvolver procedimentos específicos para buscar oportunidades de decisão com base nos objetivos estratégicos.

De forma resumida, o VFT consiste em decidir o que se quer e descobrir como obter o que se deseja. Recentemente, esta abordagem vem sendo aplicada em diversos problemas como na criação de alternativas para sustentabilidade em ambientes de construção (ALENCAR *et al.*, 2017), gerenciamento de recursos hídricos (MEDEIROS *et al.*, 2017), para estruturar inicialmente problemas para aplicação posterior de métodos de decisão multicritério (CUOGHI; LEONETI, 2019), entre outros.

2.2. TÉCNICAS FUZZY PARA TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO

O processo de decisão em grupo é uma atividade comum em que as técnicas podem ser utilizadas para subsidiar problemas de decisão como a seleção, avaliação, ordenação e categorização das alternativas disponíveis (ZHANG *et al.*, 2016). Estes problemas de tomada de decisão são considerados complexos devido ao grande número de variáveis e parâmetros que devem ser utilizados, bem como à sua inter-relação (KRISHANKUMAR *et al.*, 2019). As técnicas de decisão de grupo multicritério (MCGDM) têm sido propostas para considerar a opinião de diferentes gestores com competências distintas e conhecimentos variados, e de diferentes áreas da organização em relação à diferentes critérios de tomada de decisão (TSUI; WEN, 20014; JU, 2014).

Dentre as técnicas multicritério aplicadas à problema de tomada de decisão em grupo, é possível destacar as mais utilizadas, tais como: *Fuzzy* TOPSIS (CELIK *et al.*, 2016; GOVINDAN; SIVAKUMAR, 2016); *Fuzzy* AHP (ÇAKIR 2017; KAR, 2015; XU; RUI; WANG, 2015); *Fuzzy* VIKOR (MAHMOUDI *et al.*, 2016; SAHU; DATTA; MAHAPATRA, 2016); modelos de otimização (XUE; DUE 2017; ZHANG *et al.*, 2016). Normalmente, os modelos de otimização são utilizados para a tomada de decisão baseada

no consenso dos envolvidos, enquanto as técnicas baseadas na agregação dos julgamentos são aplicadas para coletar as diferentes percepções de desempenho das alternativas. As estruturas de avaliação mais comumente utilizadas para coletar julgamentos são (LABELLA; RODRÍGUEZ; MARTÍNEZ, 2018):

- Relações de preferência: os especialistas expressam suas opiniões por meio de comparações entre pares de alternativas. Essas preferências são geralmente representadas por matrizes simétricas. Seja m o número de alternativas disponíveis, e seja x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, m$) o valor da avaliação da alternativa i em relação a alternativa j , então uma matriz de comparação para cada tomador de decisão entre alternativas pode ser representada conforme a matriz a seguir:

$$\begin{array}{cccc}
 & \textit{Alternativa 1} & \textit{Alternativa 2} & \dots & \textit{Alternativa m} \\
 \textit{Alternativa 1} & & & & \\
 \textit{Alternativa 2} & & & & \\
 \vdots & & & & \\
 \textit{Alternativa m} & & & &
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\
 x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mm}
 \end{pmatrix}$$

- Matrizes de decisão: os especialistas expressam suas opiniões para cada alternativa sobre cada critério em função do seu desempenho. Essas preferências são apresentadas por matrizes que podem não ser simétricas. De um modo geral, existem duas expressões principais para descrever um problema GDM. A primeira, é que cada tomador de decisão fornece a sua avaliação de decisão individual em relação aos critérios para cada alternativa (YUE, 2014):

$$\begin{array}{cccc}
 & \textit{Critério 1} & \textit{Critério 2} & \dots & \textit{Critério n} \\
 \textit{Alternativa 1} & & & & \\
 \textit{Alternativa 2} & & & & \\
 \vdots & & & & \\
 \textit{Alternativa m} & & & &
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\
 x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn}
 \end{pmatrix}$$

Seja m o número de alternativas disponíveis e n o número de critérios avaliados para cada alternativa, então x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) é o valor da avaliação da alternativa i em relação a cada critério j . A literatura mais recente vem representando os

modelos nesta forma (GITINAVARD *et al.*, 2016; EBRAHIMNEJAD *et al.*, 2015; IZADIKHAH, 2012). Outra expressão utilizada na tomada de decisão em grupo ocorre quando cada alternativa é avaliada pelo conjunto de tomadores de decisão, em relação aos critérios utilizados pelo processo de decisão, conforme representado a seguir (YUE, 2014):

$$\begin{array}{cccc}
 & \textit{Critério 1} & \textit{Critério 2} & \dots & \textit{Critério } n \\
 \textit{DM 1} & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\
 \textit{DM 2} & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \textit{DM } t & x_{t1} & x_{t2} & \dots & x_{tn}
 \end{array}$$

Seja t a quantidade de tomadores de decisão envolvidos no processo e n o número de critérios avaliados, então x_{dj} ($d = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, n$) é o conteúdo da avaliação do decisor d em relação ao critério j . Entretanto, poucos artigos encontrados na literatura utilizam essa expressão para a entrada de dados das opiniões individuais (DARABI; HEYDARI, 2016; BORAN *et al.*, 2009).

As abordagens *fuzzy* de tomada de decisão em grupo podem ser usadas para coletar as avaliações de preferência individuais de cada tomador de decisão. Diferentes representações de informação são utilizadas e, posteriormente, técnicas de tomada de decisão e operadores de agregação *fuzzy* podem ser aplicados para alcançar o resultado que represente a opinião do grupo de tomadores de decisão (WANG; XU, 2016; EKEL *et al.*, 2009). Dentre as representações *fuzzy* mais atuais aplicadas nas técnicas multicritério, os conjuntos *intuitionistic fuzzy sets* e os conjuntos *hesitant fuzzy sets* têm sido destacados devido ao crescimento de trabalhos que aplicam essa representação de dados e sua capacidade de lidar com julgamentos imprecisos (CALACHE; GALO; CARPINETTI, 2021). Dessa forma, novos trabalhos vêm sendo desenvolvidos buscando integrar as imprecisões das representações intuicionistas e hesitantes por meio da representação *dual hesitant fuzzy sets* (CALACHE *et al.*, 2022; CALACHE *et al.*, 2021a; CALACHE *et al.*, 2021b; QI; ZHANG; LIANG, 2018; REN; XU; WANG, 2017; XU; RUI; WANG, 2015).

O processo de avaliação em um problema de tomada de decisão em grupo, normalmente não consegue garantir o acordo entre especialistas (LABELLA; RODRÍGUEZ; MARTÍNEZ, 2018). Sendo assim, técnicas de consenso vem sendo desenvolvidas para superar este problema. Apenas dois artigos encontrados na literatura

apresentam estudos que tratam a tomada de decisão baseada em consenso dos tomadores de decisão e a representação *dual hesitant fuzzy sets*, porém nenhum deles utilizam variáveis linguísticas e não tratam o processo de tomada de decisão em grupo para a avaliação de estratégias sustentáveis:

- Zhang *et al.* (2016) propõem um modelo de maximização de desvio para calcular pesos de critérios e outro modelo de maximização de compatibilidade para calcular pesos para tomadores de decisão.
- Zhao, Xu e Liu (2016) apresentam dois métodos de compatibilidade para relações de preferência *dual hesitant fuzzy*. No primeiro método do modelo, o nível de consenso desejado é atingido por meio do ajuste dos valores de preferência do grupo; já o segundo método do modelo, melhora o nível de consenso do grupo modificando os pesos dos membros de acordo com suas contribuições para a decisão do grupo, mantendo assim, os julgamentos originais dos tomadores de decisão.

Ressalta-se que estes trabalhos não apresentam um processo de tomada de decisão que considere sequencialmente as etapas de estruturação de problema, consenso e a agregação de julgamentos. Além disso, nenhum destes estudos propõem a aplicação de algum algoritmo evolutivo para ajustar automaticamente os pesos dos critérios e dos tomadores de decisão.

2.3. CONSENSO NO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

O termo consenso vem sendo tratado de diferentes formas pela literatura. Alguns artigos tratam o consenso como o acordo total e unânime de todos os envolvidos em relação a todas as possíveis soluções ou alternativas (TIAN *et al.*, 2018; HAHN, 2010). Outros trabalhos apresentam o termo consenso como a concordância entre a maioria dos integrantes de um grupo de decisores (TAYLAN *et al.*, 2018; SIRAJ *et al.*, 2016). O Quadro 2 apresenta as diferentes definições para consenso encontradas na literatura. Sendo assim, Yoojung Yoon *et al.* (2017) apresenta uma diferenciação entre os termos de “*hard*

consensus” e “*soft consensus*”. O *hard consensus* visa obter um acordo total entre todos os membros do grupo de decisores, alcançando uma situação utópica. Entretanto, na maioria das vezes, a aplicação do *hard consensus* é quase impossível, o que levou a prática do *soft consensus*.

Quadro 2 - Diferentes definições de consenso na literatura.

Referência	Definições de consenso apresentadas
Kacprzyk e Zadrozny (2002)	<i>“... the agreement of most of the individuals as to most of the decision problem aspects”</i>
Regan <i>et al.</i> (2006)	<i>“... satisfaction among participants that their views have been fully considered in the decision”</i>
Ben-Arieh e Chen, (2006); Ben-Arieh e Easton (2007)	<i>“... a decision that has been reached when most members of the team agree on a clear option and the few who oppose it think they have had a reasonable opportunity to influence that choice. All team members agree to support the decision.”</i>
Wen-jie e Xiao-hong (2007)	<i>“... an output minimizing dissimilarities (or maximizing similarities) between decision makers, using a particular metric in the space of evaluations”</i>
Squillante e Ventre, (2010)	<i>“... a concurrence of opinion, a compatibility of observations reached by a team of individuals acting as a whole. Dissent is defined as a difference of opinion such that conflict is caused within the team undertaking to make a decision. We define consensus as complementary to dissension, and we consider either term to capture the intent of acceptance of the pool of experts.”</i>
Hahn(2010)	<i>“consensus can also be characterized as preference homogeneity”</i>
Parreiras, <i>et al.</i> (2012)	<i>“... systematic discussion processes within the group (along with their appropriate aggregation procedures for generating collective decisions), implemented under the supervision of a moderator, with the intention of reducing the discordance among opinions”</i>
Lohr <i>et al.</i> (2012)	<i>“... strictly means that all relevant stakeholders agree on an item of interest, in practice it often refers to situations where the majority of a group agrees”</i>

Continua na próxima página.

Continuação do Quadro 2 - Diferentes definições de consenso na literatura.

Referência	Definições de consenso apresentadas
Singh e Benyoucef(2013)	“... as the full and unanimous agreement of the experts (DMs') regarding all the possible alternatives. It is dynamic and iterative group discussion process, coordinated by a moderator, who helps the experts to make their opinions closer. In each step of this process, the moderator knows the actual level of consensus between the experts, by means of the consensus measure, which establishes the distance to the ideal state of consensus.”
Xu et al.(2014)	“... a dynamic, iterative group discussion process, coordinated by a moderator, who assists the experts in bringing their preferences closer. In each step of this process, the moderator evaluates the current consensus level amongst the experts' preferences using a consensus measure. If the consensus level obtained is unable to meet the predefined requirement, a consensus reaching process is implemented to achieve the consensus goal.”
Draginčić e Vranešević (2014)	“... a result that should make each individual in the group satisfied”
Xu et al.(2015)	“... a dynamic and iterative group-discussion process, which indicates that some DMs must modify their opinions to reach a compromise. consensus refers to unanimity among individuals when selecting an option or a course of action that best represents the interests of the entire group. ”
Igoulalene e Benyoucef (2015)	“... consensus is defined as the full and unanimous agreement of all the stakeholders regarding all the possible solutions (alternatives). In a soft consensus measure, the consensus process is defined as a dynamic and iterative stakeholders discussion process coordinated by a moderator who helps the stakeholders to make their opinions closer.”
Gong et al.,(2016)	“... an opinion or position reached by a group as a whole; a decision that has been reached when most members of the team agree on a clear option and the few who oppose it think they have had a reasonable opportunity to influence that choice; all team members agree to support the decision; From the point of view of mathematical optimization, the process of reaching consensus (or consensus process) involves maximizing the agreement among a group of DMs.”

Continua na próxima página.

Continuação do Quadro 2 - Diferentes definições de consenso na literatura.

Referência	Definições de consenso apresentadas
Siraj <i>et al.</i> , (2016)	<i>“... the process of reaching the maximum degree of agreement among a group of experts based on their evaluations of a certain problem.”</i>
Romero-Gelvez, e Garcia-Melon (2016)	<i>“ A consensus reaching process in a Group Decision Making (GDM) problem is an iterative process composed by several discussion rounds in which experts are expected to modify their preferences according to the advice given by a facilitator.”</i>
Palomares <i>et al.</i> , (2017)	<i>“... bringing DMs preferences closer to each other before making a decision”</i>
Gagatsi <i>et al.</i> (2017)	<i>“... consensus is built, if a specific threshold of agreement is reached”</i>
Tian <i>et al.</i> (2018)	<i>“... obtaining the maximum degree of consensus or agreement among the experts regarding to the solution set of alternatives...”</i>
Taylan <i>et al.</i> (2018)	<i>“Consensus is a general agreement and the opinion of most of the DMs which is not a full and unanimous agreement.”</i>
Jin <i>et al.</i> (2018)	<i>“... with respect to concerned experts and criteria among all experts and criteria, here we mean all of the concerned experts provide full satisfaction for all of concerned criteria.”</i>
Noriega (2018)	<i>“... a generally accepted opinion or decision among a group of people.”</i>

Fonte: própria autoria.

No *soft consensus*, o processo de busca de consenso é definido como um processo dinâmico e interativo de discussão dos tomadores de decisão, coordenado por um moderador, que ajuda os tomadores de decisão a trazer suas opiniões mais próximas. Para isso, o *soft consensus* busca medir o nível de concordância de um grupo de decisão em relação a uma solução (IGOULALENE; BENYOUCEF, 2015). A medida de concordância (ou proximidade) avalia a situação de consenso em cada iteração do processo de tomada de decisão e é usada para projetar o mecanismo de *feedback* (CHOUDHURY *et al.*, 2006).

Conforme apontado por alguns autores, geralmente as abordagens para a aplicação do *soft consensus* na literatura podem ser divididas em dois grupos (MIANABADI; AFSHAR, 2009; BEN-ARIEH; EASTON, 2007). O primeiro trata o consenso como “*mathematical aggregated consensus*”. Este tipo de consenso requer algum tipo de

arbitragem obrigatória, portanto, os especialistas contribuintes não precisam convergir em suas opiniões. Na maioria dos casos deste tipo de abordagem, o consenso é alcançado alterando os pesos dos especialistas e/ou dos critérios analisados. No outro tipo, chamado de “*Nominal Group Techniques*”, os especialistas são encorajados a modificar sua opinião para chegar a um acordo mais próximo da opinião do grupo. Neste caso, métodos de medição de consenso são utilizados para guiar os especialistas em como podem mudar seus julgamentos para atingir um maior nível de consenso (BEN-ARIEH; EASTON, 2007).

A tomada de decisão por consenso tem vantagens com relação à redução dos conflitos entre os vários membros do grupo, incentivando os membros do grupo a participar do processo de tomada de decisão e aumentando a possibilidade de realizar com sucesso a decisão tomada. No entanto, o processo para chegar a uma decisão consensual do grupo pode não ser eficaz em termos de tempo e custo, porque os membros do grupo e seus conhecimentos podem variar muito (YOOJUNG YOON *et al.*, 2017). Segundo Hahn (2010), a falta de consenso do grupo pode ser causada por: diferenças nas políticas de julgamento dos membros do grupo; inconsistência de um membro específico (ou membros) em usar uma política de julgamento; fatores dentro de um grupo que impedem que os membros entendam uns aos outros da melhor forma possível, ou; diminuições na capacidade de processamento que podem reduzir a eficácia do processamento de informações dos membros.

Para identificar as principais abordagens multicritério utilizadas para consenso considerando a tomada de decisão em grupo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura. Os passos descritos na Seção 1.3 e representados pela Figura 2 foram aplicados para guiar o processo de levantamento bibliográfico. A pesquisadora verificou quais são as abordagens multicritério utilizadas para consenso na tomada de decisão em grupo. O conjunto de palavras (“consensus” AND “group decision” AND “multi-criteria”) OR (“consensus” AND “group decision” AND “multicriteria”) OR (“consensus” AND “group decision” AND “multi criteria”) foi aplicado, retornando um total de 253 artigos na base Web of Science, 241 artigos na base SCOPUS e 245 artigos na base EMERALD.

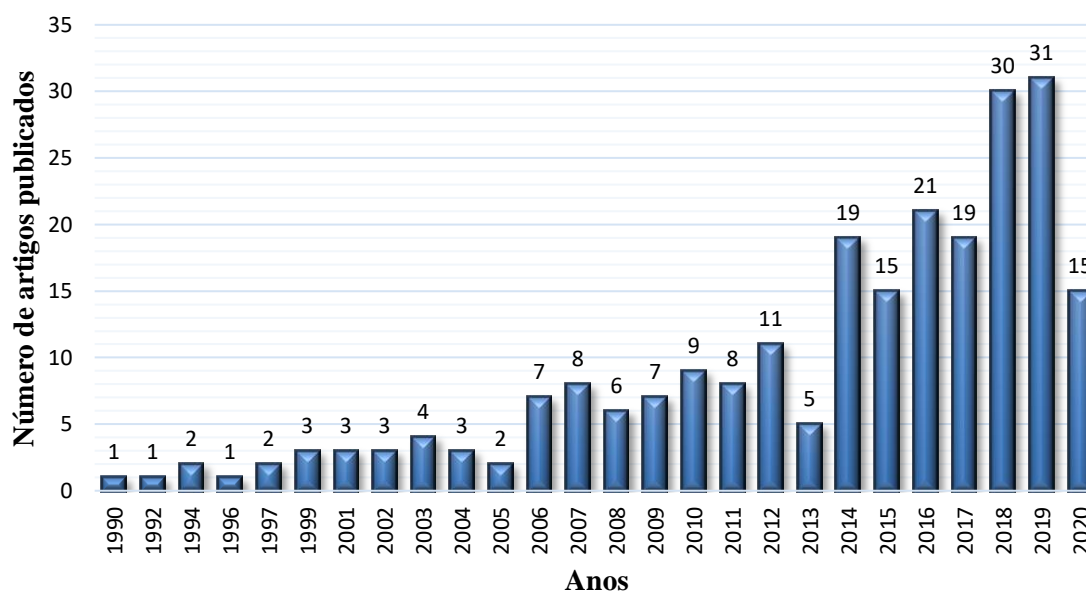
Todos os artigos de periódicos, congressos e livros retornados da pesquisa até o final de abril de 2020 foram analisados. Inicialmente as duplicidades foram eliminadas resultando em um total de 352 artigos. A estratégia de busca foi ler inicialmente o resumo e palavras chaves, e em caso de dúvidas, as seções seguintes dos artigos eram lidas para avaliação do seu escopo. Ao final desta etapa foram identificados 237 artigos que

abordavam o tema de tomada de decisão multicritério por meio de abordagens de consenso. Os artigos foram então classificados conforme o ano de publicação, país de origem da universidade do primeiro autor, abordagem de consenso utilizada, tipo da representação da informação dos julgamentos dos tomadores de decisão, técnicas aplicadas para a resolução do problema e o tema da aplicação realizada. Os artigos excluídos não relacionavam a tomada de decisão em grupo com abordagens de consenso e técnicas multicritério concomitantemente. As informações obtidas com os dados dos artigos são apresentadas a seguir.

A Figura 5 apresenta um gráfico com o número de artigos publicados de acordo com os anos. Verifica-se a existência de um crescimento no número de pesquisas referentes ao escopo do tema ao decorrer dos anos. A partir de 2014, o número de pesquisas apresentou um maior salto, com o desenvolvimento de novas combinações de abordagens de consenso e técnicas multicritério de tomada de decisão, tais como Fuzzy AHP (JAMI POUR *et al.*, 2017), Fuzzy TOPSIS (NIKAS *et al.*, 2018), DEMATEL (KUMAR *et al.*, 2018), VIKOR (WANG; CAI, 2017) entre outros.

Ao separar as publicações de artigos por países, é possível identificar as regiões que estão desenvolvendo mais pesquisas referentes ao tema e que são potenciais parceiros de pesquisa. A Figura 6 apresenta os países que participaram com pelo menos dois artigos publicados. A China se destaca pela grande concentração dos artigos encontrados na revisão sistemática (32%), seguida pelos Estados Unidos (8,2%). Já o Brasil, apresenta uma participação com seis artigos publicados (2,5%) dentro do escopo de pesquisa, todos resultantes dos últimos 10 anos, o que pode ser apresentado como um tema recente que vem sendo abordado no país.

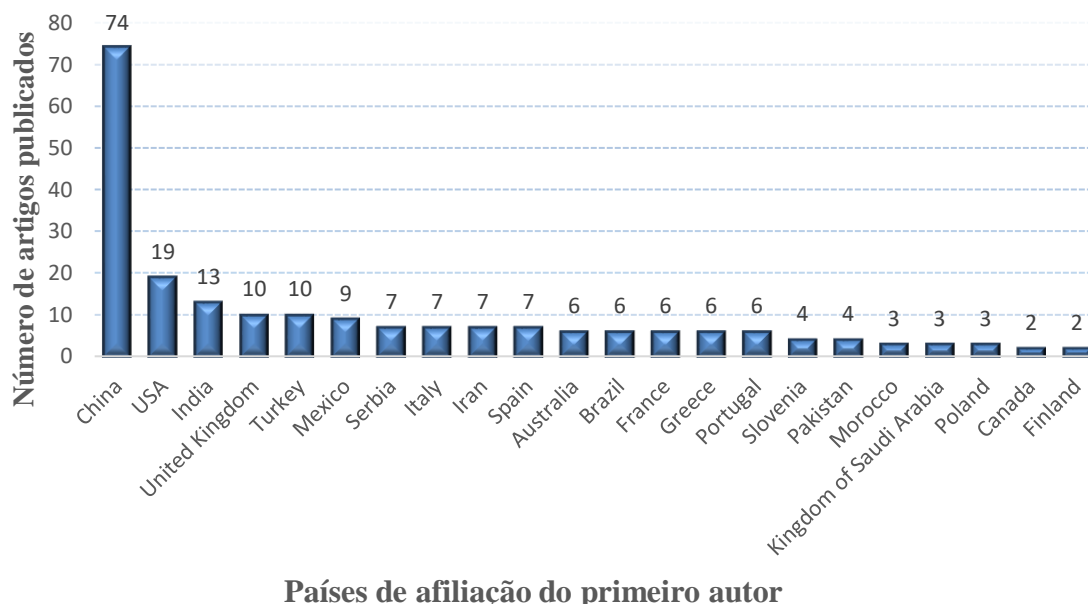
Figura 5 - Número de artigos de consenso com técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo publicados em cada ano.



Fonte: própria autoria.

Em relação à disseminação do conteúdo, 133 periódicos e congressos diferentes publicaram artigos relacionados ao tema abordado. Entretanto, a grande maioria dos periódicos e congressos (72,1%), publicou apenas um artigo referente ao tema, o que demonstra uma gama de possibilidades de aplicações relacionados ao tema. O periódico com maior número de publicações acerca do tema foi a Group Decision and Negotiation (8 artigos), seguido pelos periódicos Decision Support Systems, Kybernetes, European Journal of Operational Research, IEEE Transactions on Systems, Man, and Kybernetes, todos com 6 artigos. Com 5 artigos publicados temos: International Journal of Information Technology & Decision Making, e Omega. E com 4 publicações foram identificados: Computers & Industrial Engineering, Expert Systems with Applications, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, e Information Sciences. A identificação dos periódicos que mais publicaram temas relacionados ao escopo da presente pesquisa, pode contribuir para a seleção de revistas mais complacentes para a submissão de artigos correlacionados.

Figura 6 - Número de artigos de consenso com técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo publicados em cada país.



Fonte: própria autoria.

Em relação as representações de informação, é possível observar uma ampla aplicação dos conjuntos *fuzzy* e suas generalizações, com uma participação em 51% dos artigos apresentados. Destaca-se que cada vez mais opções de representação de informações vêm sendo propostas e aplicadas. No último ano avaliado (2019), 16 representações diferentes foram utilizadas. Dentre estas representações, as baseadas na teoria *hesitant fuzzy* foram as mais utilizadas (LIU *et al.*, 2019; SELLAKE *et al.*, 2019; LI; ZHUANG; ZHILIANG, 2019; TIAN *et al.*, 2019; TANG; LIAO, 2019).

Sobre as técnicas multicritério, é possível identificar a aplicação de 41 técnicas distintas, sendo algumas delas utilizadas de forma conjunta (técnicas híbridas) ou de forma individual. Devido à grande quantidade de representações de informação propostas recentemente, muitos artigos utilizam apenas operadores de agregação para se obter a solução do problema (CALLEJAS *et al.*, 2019; BREGAR, 2019; ZHANG; WANG; HU, 2018; WIBOWO; DENG, 2015). Porém, diversas técnicas multicritério já amplamente conhecidas também foram aplicadas tais como AHP, TOPSIS, VIKOR, TODIM, DEA, ANP, métodos de otimização, as famílias do PROMETHEE e do ELECTRE, entre outros. Além disso, a técnica AHP se destaca como a mais utilizada neste tipo de problema com 21,9% dos artigos selecionados.

As abordagens de consenso identificadas nos artigos foram classificadas em cinco categorias distintas, sendo estas:

- Consenso matemático agregado: neste tipo de abordagem as avaliações dos tomadores de decisão são realizadas de forma individual e o próprio modelo de tomada de decisão se encarrega de agregar os julgamentos. Normalmente os pesos dos tomadores de decisão e dos critérios são calculados por um modelo matemático para diminuir a divergência entre os julgamentos.
- Método de mediação em grupo – Delphi: esta abordagem envolve um processo iterativo de tomada de decisão na qual um mediador é responsável por direcionar um grupo de especialistas, que realizam julgamentos individuais, para a obtenção do consenso por meio da abordagem Delphi.
- Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos: esta abordagem envolve um processo iterativo de tomada de decisão na qual um mediador avalia a medida de concordância (ou proximidade) entre os julgamentos individuais dos tomadores de decisão. Essa medida é calculada pela distância entre as avaliações dos tomadores de decisão e a matriz agregada de decisão em grupo.
- Método de mediação em grupo – negociação: abordagem iterativa de tomada de decisão na qual um mediador é responsável em apontar divergências nas avaliações dos tomadores de decisão. Indicadores são utilizados para a verificação da discrepância entre os julgamentos que são refeitos após uma rodada de negociação entre os tomadores de decisão.
- Método de votação: abordagem pela qual a decisão é obtida por meio da concordância da maioria dos tomadores de decisão envolvidos no processo.

A partir dessa categorização proposta, as Tabelas 1 a 6 apresentam as técnicas multicritério aplicadas em conjunto com as abordagens de consenso para os variados contextos de problemas de tomada de decisão.

Tabela 1 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de fornecedores.

Abordagem de consenso	Referência	Representação de informação	Técnicas multicritério
Consenso matemático agregado	Perçin (2019)		SWARA
	Sahu <i>et al.</i> (2016)		VIKOR
	Kar(2015)	Números <i>fuzzy</i>	AHP e ANP
	Kumar e Kumar(2014)		AHP
	Tian <i>et al.</i> (2018)	<i>Hesitant fuzzy</i>	<i>signed distance based on preference score function</i>
	Ting e Cho(2008)		AHP; programação linear multiobjetivo
	Rodrigues e Sirova(2019)	Números <i>crisp</i>	AHP
	Wang e Cai(2017)	Números <i>crisp</i> , <i>Intuitionistic fuzzy and Hesitant fuzzy</i>	VIKOR
	Chen(2012)	<i>Interval-valued fuzzy numbers</i>	Modelo de programação integrada; operador de agregação
	Sremac <i>et al.</i> , (2018)	<i>Rough sets</i>	SWARA e WASPAS
Zaied, Ismail e Gamal (2019)	<i>neutrosophic</i>	ANP	
Método de mediação em grupo – Delphi	Bregar(2019)		Operador de agregação
	Hsu e Chen (2008)	Números <i>crisp</i>	AHP
	Tam e Tummala, (2001)		AHP
	Tang e Hsu(2015)	Relações de preferência <i>Fuzzy</i>	Operador de agregação

Continua na próxima página.

Continuação da Tabela 1 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de fornecedores.

Abordagem de consenso	Referência	Representação de informação	Técnicas multicritério
Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos	Zhu e Li (2018)	<i>Hesitant 2-tuple</i>	Operador de agregação e <i>Choquet integral operator</i>
	Xie <i>et al.</i> (2019)	<i>Dual probabilistic linguistic term sets</i>	<i>Dual probabilistic multiplicative linguistic preference relations</i>
	Nie <i>et al.</i> (2019)	<i>Continuous interval-valued linguistic term set</i>	TODIM
	Li, Wang e Wang, (2019)	<i>linguistic neutrosophic numbers</i>	Método de distância da solução média
	Yassine el Khayyam e Brahim Herrou (2018)	Números <i>crisp</i>	<i>K-means</i> ; AHP
	Shen <i>et al.</i> (2019)	<i>Intuitionistic fuzzy</i>	ELECTRE III
	Siraj <i>et al.</i> (2016)		Operador de agregação
	Igoulalene, Benyoucef e Tiwari (2015)	Números <i>fuzzy</i>	TOPSIS e <i>Goal Programing</i>
	Igoulalene e Benyoucef (2013)		<i>Goal programing</i>
	Wibowo e Deng (2009)		Operador de agregação
Método de mediação em grupo – negociação	Taylan <i>et al.</i> (2018)		AHP e TOPSIS
	Gupta <i>et al.</i> , (2012)	Números <i>fuzzy</i>	PROMETEE GDSS
	López-Morales, (2018)	Números <i>crisp</i>	<i>Interval Multiplicative Preference Relations</i>
	Shahin e Mahbod (2007)		AHP
Método de votação	Draginčić e Vranešević (2014)	Números <i>crisp</i>	AHP

Fonte: própria autoria.

Tabela 2 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de projetos.

Abordagem de consenso	Referência	Representação de informação	Técnicas multicritério
Consenso matemático agregado	Wei <i>et al.</i> (2016)	Números <i>fuzzy</i>	Operador de agregação
	Zarghami, (2011) Choudhury, Shankar e Tiwari(2006)		
	Abel, Mikhailov e Keane(2015)	Números <i>crisp</i>	AHP
Método de mediação em grupo – Delphi	Lefley(2006)	Números <i>fuzzy</i>	AHP
Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos	Parreiras, Ekel e Morais(2012)	Números <i>fuzzy</i>	Operador de agregação
	Parreiras <i>et al.</i> (2010)		
	Ekel <i>et al.</i> (2009)		
Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos	Dalal, Mohapatra e Chandra Mitra (2010)	Números <i>crisp</i>	AHP
	Tavana(2003)		
	Hahn (2010)		
			<i>Kullback–Leibler divergence</i>
Método de mediação em grupo – negociação	Haralambopoulos e Polatidis (2003)	Números <i>crisp</i>	PROMETHEE II
Método de votação	Faizi, Rashid e Zafar(2017)	<i>hesitant intuitionistic fuzzylinguistic term sets</i>	<i>Net outranking flow index</i>
	Liu <i>et al.</i> (2016)	Números <i>crisp</i>	Processo de votação

Fonte: própria autoria.

Tabela 3 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de equipamentos.

Abordagem de consenso	Referência	Representação de informação	Técnicas multicritério
Consenso matemático agregado	Pérez-Rodríguez e Rojo-Alboreca (2017)	Números <i>crisp</i>	<i>Triangular Assessment Method</i>
Consenso matemático agregado	Büyüközkan e Güteryüz(2016)	<i>Intuitionistic Fuzzy</i>	TOPSIS
Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos	Çakır (2018)		SMART e FWAD
	Singh <i>et al.</i> (2017)	Números <i>fuzzy</i>	Operador de agregação
	Xu, Wu e Zhang, (2014)		
	Liu <i>et al.</i> (2019)	<i>Hesitant Fuzzy</i>	Soft set theory
Método de mediação em grupo – negociação	Squillante e Ventre, (2010)	Números <i>crisp</i>	operador de agregação
	Nakatani e Chuang, (2011)		AHP
	Carneiro <i>et al.</i> (2018)	Números <i>crisp</i>	<i>argumentation-based dialogue model</i>
	Camci, Temur, e Beskese(2018)	<i>Hesitant Fuzzy</i>	AHP

Fonte: própria autoria.

Tabela 4 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de localizações.

Abordagem de consenso	Referencia	Representação de informação	Técnicas multicritério
Consenso matemático agregado	Pochampally, Gupta e Gupta(2004)	Números <i>crisp</i>	TOPSIS
	Malczewski(1997)		Programação inteira

Continua na próxima página.

Continuação da Tabela 4 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de localizações.

Abordagem de consenso	Referencia	Representação de informação	Técnicas multicritério
Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos	Igoulalene e Benyoucef(2014)	Números <i>fuzzy</i>	TOPSIS
	Rigopoulos, Psarras e Dimitrios(2008)		ELECTRE III
	Wibowo e Deng (2013)	<i>Intuitionistic fuzzy numbers</i>	Operador de agregação
Método de mediação em grupo – negociação	Carrillo e López(2016)	Números <i>crisp</i>	ELECTRE III
	Leyva López, e Alvarez Carrillo, (2015)		Operador de agregação
	Leyva-Lopez e Fernandez-Gonzalez (2003)	Números <i>fuzzy</i>	ELECTRE III; GA

Fonte: própria autoria.

Tabela 5 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de investimentos.

Abordagem de consenso	Referencia	Representação de informação	Técnicas multicritério
Consenso matemático agregado	Yusoff <i>et al.</i> (2018)	Termos linguísticos	Operador de agregação
Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos	Wu, Kou e Peng(2018)	Números <i>crisp</i>	AHP
	Song <i>et al.</i> (2017)		
	Meng e An (2017)	<i>Hesitant Fuzzy</i>	Operador de agregação
	Zhang e Wang (2017)	<i>interval linguistic 2-tuples</i>	
	Zhang (2017)	<i>Interval-Valued Hesitant Fuzzy</i>	Modelo de otimização não linear

Continua na próxima página.

Continuação da Tabela 5 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de seleção de investimentos.

Abordagem de consenso	Referencia	Representação de informação	Técnicas multicritério
Método de mediação em grupo – negociação	Wu e Kou (2016)	Números crisp	AHP

Fonte: própria autoria.

Tabela 6 - Aplicações de abordagens de consenso nos problemas de avaliação de riscos.

Abordagem de consenso	Referencia	Representação de informação	Técnicas multicritério
Consenso matemático agregado	Rezakhani (2012)	Números <i>fuzzy</i>	Operador de agregação
Método de mediação em grupo – Delphi	Battirola Filho <i>et al.</i> , (2017)	Números <i>crisp</i>	AHP
Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos	Khayyam e Brahim(2018)	Números <i>crisp</i>	AHP
	Shen, Xu e Xu(2016)	Intuitionistic fuzzy	ELECTRE III
	Palomares <i>et al.</i> , (2016)	Números <i>crisp</i>	Operador de agregação
	Yu, Wang e Lai (2009)	Números <i>fuzzy</i>	Operador de agregação
Método de votação	Liu <i>et al.</i> (2011)	Números <i>crisp</i>	<i>Deliberative multi-criteria evaluation</i>

Fonte: própria autoria.

Como pode ser visto, o método de mediação em grupo baseado na minimização das distâncias entre julgamentos é o método de consenso mais utilizado, seguido pelo consenso matemático agregado. Além disso, apenas esses dois métodos são aplicados em todos os tipos de problemas de decisão apresentados. Uma possível justificativa para a maior utilização desses métodos é a facilidade de integração com várias técnicas multicritério. O Quadro 3 apresenta as vantagens e limitações para cada abordagem de consenso.

Quadro 3 - Vantagens e limitações das abordagens de consenso.

Abordagem de consenso	Vantagens	Limitações
Consenso matemático agregado	<ul style="list-style-type: none"> - Rápido processo decisório, que busca trabalhar com os julgamentos individuais existentes; - Permite a combinação com vários tipos de representações de informação e técnicas com diferentes operadores de agregação 	<ul style="list-style-type: none"> - O consenso alcançado pode apresentar um baixo nível de concordância; - Opiniões com alta divergência são considerados e podem afetar a solução.
Método de mediação em grupo – Delphi	<ul style="list-style-type: none"> - Processo iterativo que pode proporcionar um elevado nível de acordo entre os especialistas; - Fácil de implementar. 	<ul style="list-style-type: none"> - O processo de decisão pode ser longo e demorado; -algumas técnicas combinadas até agora (basicamente AHP e operadores de agregação).
Método de mediação em grupo – minimização da distância entre julgamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Processo iterativo que pode proporcionar um elevado nível de acordo entre os especialistas; - Adequado para os tomadores de decisão com opiniões muito divergentes; - Permite a combinação com vários tipos de representações e técnicas de informação com diferentes operadores de agregação 	<ul style="list-style-type: none"> -Normalmente necessita a coleta de novos julgamentos dos tomadores de decisão, aumentando o tempo do processo de decisão; - O processo de tomada de decisão pode ser mais complexo devido aos métodos utilizados.
Método de mediação em grupo – negociação	<ul style="list-style-type: none"> - Processo iterativo que pode proporcionar um elevado nível de acordo entre os especialistas; -Pode ser utilizado com métodos de estruturação de problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> - O processo de decisão pode ser longo e demorado; - Os tomadores de decisão de uma hierarquia superior ou mais persuasivos podem influenciar os outros envolvidos.
Método de votação	<ul style="list-style-type: none"> - Rápido processo de tomada de decisão, com pouca informação; - Procedimento mais simples. 	<ul style="list-style-type: none"> - O consenso alcançado pode apresentar um baixo nível de acordo que poderá ser contestado no futuro; - Raramente combinado com técnicas multicritérios

Fonte: adaptado de Calache *et al.* (2021c).

Um tema que vem se apresentando cada vez mais emergente nos problemas de busca de consenso são as aplicações voltadas para problemas considerando sustentabilidade (MATSUURA, BABA, 2016). Entretanto, dentre as aplicações levantadas, poucos estudos consideram critérios ou contextos sustentáveis (4,6%). Além disso, todos esses artigos são recentes. A Tabela 7 apresenta de forma mais detalhada esses estudos.

Tabela 7 - Aplicações de abordagens de consenso considerando sustentabilidade.

Método de consenso	Referência	Representação de informação	Técnica combinada	Aplicação
Consenso matemático agregado	Ren <i>et al.</i> (2018)	Números intervalados	<i>Leher-Wagner (LW) model</i>	Avaliação de indústrias sustentáveis
	Elzauka, Yan e Chakraborty(2017)	<i>Vague set fuzzy theory</i>	Operador de agregação	Seleção de tecnologia renovável
Consenso matemático agregado	Wei <i>et al.</i> (2016)	Números <i>crisp</i>	Operador de agregação	Priorização de projetos de transporte
Método de mediação em grupo - minimização das distâncias entre julgamentos	Xu <i>et al.</i> (2018)	<i>Interval type 2 fuzzy numbers</i>	<i>Entropy weight method</i>	Alocação de centros de carregamento para carros elétricos.
	Zhang <i>et al.</i> (2016)	<i>Interval-valued hesitant fuzzy</i>	VIKOR e TOPSIS	Soluções de resposta de emergência
	Le Pira <i>et al.</i> , (2015)	Números <i>crisp</i>	AHP	Alternativas de gestão da mobilidade
	Nie <i>et al.</i> (2019)	<i>Continuous interval-valued linguistic term set</i>	TODIM	Seleção de fornecedores verdes
	Zhu e Li(2018)	<i>Hesitant 2-tuple linguistic</i>	<i>Choquet integral operator</i>	Seleção de fornecedores verdes
Método de mediação de grupo - negociação	Song <i>et al.</i> (2017 b)	<i>Cloud prospect value</i>	<i>cloud model</i>	projetos de investimento na produção
	Gonzalez-Feliu e Morana (2014)	Números <i>crisp</i>	<i>Hierarchic dashboard</i>	Sustentabilidade da logística urbana

Fonte: Própria autoria.

2.4. DUAL HESITANT FUZZY SETS

A teoria dos conjuntos *fuzzy* inicialmente proposta por Zadeh (1965) obteve ampla aceitação em diversos campos de estudo, bem como nos mais variados processos de tomada de decisão em grupo. Muitas formas generalizadas de conjuntos difusos foram propostas para lidar com a imprecisão destes problemas tais como: *intuitionistic fuzzy* (TOORANLOO *et al.*, 2018; ZHU *et al.*, 2018); *hesitant fuzzy* (CHANG *et al.*, 2018; SOYER *et al.*, 2016); *fuzzy* tipo-2 (AKYUZ; CELIK, 2018; BAHREBAR *et al.*, 2018), dentre outras generalizações.

Enquanto uma variável algébrica utiliza números como valores, uma variável linguística utiliza as palavras e/ou sentenças como valores. Dessa forma, o nome dessa variável linguística é seu rótulo. O conjunto de valores que a variável pode assumir é chamado conjunto de termos. Cada valor no conjunto de termos é um valor linguístico ou termo definido sobre o universo. Portanto, uma variável linguística assume um valor linguístico, que é um conjunto *fuzzy* definido no universo de discurso (JANTZEN, 2007). Um conjunto *fuzzy* \tilde{A} é definido por:

$$\tilde{A} = \{x, \mu_A(x)\}, \quad x \in X$$

Onde, $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ é um membro da função de \tilde{A} e $\mu_A(x)$ é o grau de pertinência de x em \tilde{A} . Se $\mu_A(x)$ é igual a 0, então x não pertence ao conjunto *fuzzy* \tilde{A} . Caso $\mu_A(x)$ seja igual a 1, x pertence completamente ao conjunto *fuzzy* \tilde{A} . Entretanto, se $\mu_A(x)$ possui um valor entre 0 e 1, então x pertence parcialmente ao conjunto *fuzzy* \tilde{A} . Dessa forma, pode-se dizer que a pertinência de x é verdadeira com um grau de pertencimento dado por $\mu_A(x)$ (ZADEH, 1965; ZIMMERMANN, 2010). Um número *fuzzy* é um conjunto *fuzzy* na qual a função de pertinência satisfaz a condição de normalidade e de convexidade (ZADEH, 1965; ZIMMERMANN, 2010).

Um conjunto *fuzzy* é normal, se e somente se, existir ao menos um elemento com grau de pertencimento máximo, $\mu_A(x) = 1$. Além disso, um conjunto *fuzzy* \tilde{A} é convexo, se e somente se, $\forall x_1$ e $x_2 \in X$ e $\forall \lambda \in [0, 1]$, $f_A(x)[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min [f_A(x_1), f_A(x_2)]$ (BELLMAN E ZADEH, 1970).

Uma nova generalização dos conjuntos fuzzy foi proposta por Zhu, Xu e Xia (2012), os conjuntos *dual hesitant fuzzy* (DHFS). Esta representação busca combinar os conceitos

intuicionistas e hesitantes, integrando a vantagem de cada uma delas. Os conjuntos *hesitant fuzzy* foram propostos por Torra (2010), o qual permite o grau de pertencimento de um elemento em um conjunto com vários valores possíveis, habilitando a hesitação do tomador de decisão na definição das variáveis que representam seu julgamento (ZHANG *et al.*, 2017). Assim como nos conjuntos intuitionistic fuzzy, DHFS também possui funções de graus de pertencimento e não pertencimento; no entanto, essas duas funções são expressas por vários números determinados, em vez de um único número, modelando a imprecisão do mundo real com mais precisão do que outras generalizações da teoria fuzzy. Especificamente, o DHFS é muito útil para problemas de tomada de decisão em grupo, quando é difícil determinar as funções do grau de pertencimento e do grau de não pertencimento (YU; LI; MERIGO, 2016). Recentemente, esta abordagem vem sendo amplamente proposta para problemas de tomada de decisão multicritério, com o desenvolvimento de novos modelos e teorias (ZHANG *et al.*, 2017).

2.4.1. Conceitos básicos DHFS

Zhu, Xu e Xia (2012) definem o conceito de *dual hesitant fuzzy* como uma extensão dos conjuntos *hesitant fuzzy*. Dado um conjunto fixo U , um conjunto *Dual Hesitant Fuzzy* (DHF) D em X é representado como na Equação 1:

$$\tilde{D} = \{ \langle x, \tilde{h}_{\tilde{D}}(x), \tilde{g}_{\tilde{D}}(x) \mid x \in U \rangle \} \quad (1)$$

Onde, $\tilde{h}_{\tilde{D}}(x)$ e $\tilde{g}_{\tilde{D}}(x)$ são dois conjuntos de algum valor no intervalo $[0,1]$, denotando os graus de pertencimento e não pertencimento possíveis do elemento $x \in U$ ao conjunto D , respectivamente, com as condições: $0 \leq \gamma, \eta \leq 1$ e $0 \leq \gamma^+ + \eta^+ \leq 1$, onde para todo $x \in U$ $\gamma \in \tilde{h}_{\tilde{D}}(x)$, $\eta \in \tilde{g}_{\tilde{D}}(x)$, $\gamma^+ \in \tilde{h}_{\tilde{D}}^+(x) = \cup_{\gamma \in \tilde{h}_{\tilde{D}}(x)} \text{Max}\{\gamma\}$, $\eta^+ \in \tilde{g}_{\tilde{D}}^+(x) = \cup_{\eta \in \tilde{g}_{\tilde{D}}(x)} \text{Max}\{\eta\}$.

As operações básicas e propriedades dos conjuntos DHF, também foram apresentados por Zhu, Xu e Xia (2012). Dado três elementos DHF, d, d_1 e d_2 e um número inteiro não negativo n , então as operações básicas podem ser apresentadas na equações 2 a 5, conforme Yu *et al.* (2016):

$$\text{União-Soma: } d_1 \oplus d_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2, \eta_1 \in g_1, \eta_2 \in g_2} \{ \{ \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \gamma_2 \}, \{ \eta_1 \eta_2 \} \} \quad (2)$$

$$\text{Intersecção-Multiplicação: } d_1 \otimes d_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2, \eta_1 \in g_1, \eta_2 \in g_2} \{ \{\gamma_1 \gamma_2\}, \{\eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2\} \} \quad (3)$$

$$\text{Multiplicação por } n: nd = \cup_{\gamma \in h, \eta \in g} \{ \{1 - (1 - \gamma)^n\}, \{\eta^n\} \} \quad (4)$$

$$\text{Potencialização por } n: d^n = \cup_{\gamma \in h, \eta \in g} \{ \{\gamma^n\}, \{1 - (1 - \eta)^n\} \} \quad (5)$$

Dado $\tilde{d}_j = (\tilde{h}_j, \tilde{g}_j) (j = 1, 2, \dots, n)$ um grupo de elementos DHF, então a função de pontuação $S(d_j)$ é definido conforme Equação 6 a seguir.

$$S(d_j) = \frac{1}{\#h} \sum_{\gamma_j \in h_j} \gamma_j - \frac{1}{\#g} \sum_{\eta_j \in g_j} \eta_j \quad (6)$$

Por exemplo, caso $S(d_3) > S(d_1) > S(d_2)$, então $d_3 > d_1 > d_2$.

Para se calcular a distância entre dois elementos DHFS, a distância euclidiana pode ser aplicada. Sendo assim, suponha-se dois DHFE: $\tilde{d}_1 = (\tilde{h}_1, \tilde{g}_1) = \{ \{\tilde{h}_1^1, \tilde{h}_2^1, \dots, \tilde{h}_m^1\}, \{\tilde{g}_1^1, \tilde{g}_2^1, \dots, \tilde{g}_n^1\} \}$; $\tilde{d}_2 = (\tilde{h}_2, \tilde{g}_2) = \{ \{\tilde{h}_1^2, \tilde{h}_2^2, \dots, \tilde{h}_p^2\}, \{\tilde{g}_1^2, \tilde{g}_2^2, \dots, \tilde{g}_q^2\} \}$, então a distância euclidiana entre estes elementos pode ser calcular utilizando-se a Equação (7) (Zhang, 2020).

$$E_d(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2) = \left[\frac{0.5}{m+p} \left(\sum_{i=1}^m \min_j |\tilde{h}_i^1 - \tilde{h}_j^2|^2 + \sum_{j=1}^p \min_i |\tilde{h}_j^2 - \tilde{h}_i^1|^2 \right) + \frac{0.5}{n+q} \left(\sum_{i=1}^n \min_j |\tilde{g}_i^1 - \tilde{g}_j^2|^2 + \sum_{j=1}^q \min_i |\tilde{g}_j^2 - \tilde{g}_i^1|^2 \right) \right]^{1/2} \quad (7)$$

2.4.2. Termos linguísticos hesitantes

Seja $S = \{s_i | i = 1, 2, \dots, t\}$ um conjunto de termos linguísticos com cardinalidade ímpar, qualquer termo s_i representa um valor possível para uma variável linguística e deve atender às seguintes características (WEI, 2017; QI; LIANG; ZHANG, 2016; JU; YANG; LI, 2014):

- O conjunto é ordenado $s_i > s_j$ se $i > j$;
- Existe o operador de negação: $Neg(s_i) = s_j$, tal que $i + j = t + 1$;
- Operador máximo: $Max\{s_i, s_j\} = s_j$, se $i \leq j$;
- Operador mínimo: $Min\{s_i, s_j\} = s_i$, se $i \geq j$;

Para facilitar a avaliação da distância entre termos linguísticos *fuzzy*, estudos vêm utilizando conjuntos de termos linguísticos simétricos (OSIRO; LIMA; CARPINETTI, 2018; YU; ZHANG; YANG, 2018). A utilização de termos simétricos foi proposto por Xu (2005): seja τ um valor inteiro positivo, e seja $s_{-\tau}$ e s_{τ} os limitantes inferior e superior respectivamente, um conjunto de termos linguísticos simétricos é representado conforme Equação 8.

$$S = \{s_{-\tau}, \dots, s_{-1}, s_0, s_1, \dots, s_{\tau}\} \quad (8)$$

Por exemplo, um conjunto de termos linguísticos com $\tau = 2$ pode apresentar as variáveis linguísticas demonstradas na Equação 9.

$$\begin{aligned} S &= \{s_{-\tau}, \dots, s_{-1}, s_0, s_1, \dots, s_{\tau}\} = \{s_{-2}, s_{-1}, s_0, s_1, s_2\} \\ &= \{\text{Muito baixo}, \text{Baixo}, \text{Médio}, \text{Alto}, \text{Muito Alto}\} \end{aligned} \quad (9)$$

Assim como pode ser observado nos estudos que utilizam variáveis linguísticas DHF, as representações dos termos ativados seguem o mesmo princípio da representação linguística *Hesitant Fuzzy* (QI; LIANG; ZHANG, 2016). Entretanto a representação linguística DHF também considera a imprecisão na hesitação da parametrização dos termos linguísticos, tendo assim graus de pertencimento e de não pertencimento para os termos ativados pelos julgamentos (WANG; ZHAO; WEI, 2014). A utilizações dessas representações permite aos tomadores de decisão realizarem julgamentos mais complexos por meio da utilização de sentenças. Sendo assim, Rodríguez, Martínez e Herrera (2013) apresentam uma proposta para a transformação das sentenças em conjuntos de termos linguísticos hesitantes. Seja E_{GH} uma função que transforma expressões linguísticas ll em elementos hesitantes H_s ativados, apresenta-se as seguintes regras de transformação:

- $E_{GH}(s_i) = \{s_i | s_i \in S\};$
- $E_{GH}(\text{No máximo } s_i) = \{s_j | s_j \in S \text{ e } s_j \leq s_i\};$
- $E_{GH}(\text{Menor do que } s_i) = \{s_j | s_j \in S \text{ e } s_j < s_i\};$
- $E_{GH}(\text{No mínimo } s_i) = \{s_j | s_j \in S \text{ e } s_j \geq s_i\};$
- $E_{GH}(\text{Maior do que } s_i) = \{s_j | s_j \in S \text{ e } s_j > s_i\};$
- $E_{GH}(\text{Entre } s_i \text{ e } s_j) = \{s_k | s_k \in S \text{ e } s_j \leq s_k \leq s_i\};$

Para exemplificar, os elementos hesitantes ativados serão apresentados utilizando-se os termos linguísticos da Equação 9 e expressões linguísticas ll_s :

- $H_s = E_{G_H}(ll_1 = \text{Muito alto}) = \{\text{Muito alto}\};$
- $H_s = E_{G_H}(ll_2 = \text{No máximo médio}) = \{\text{Muito Baixo, Baixo, Médio}\};$
- $H_s = E_{G_H}(ll_3 = \text{Menor do que médio}) = \{\text{Muito baixo, Baixo}\};$
- $H_s = E_{G_H}(ll_4 = \text{No mínimo Alto}) = \{\text{Alto; Muito alto}\};$
- $H_s = E_{G_H}(ll_5 = \text{Maior do baixo}) = \{\text{Médio, Alto, Muito alto}\};$
- $H_s = E_{G_H}(ll_6 = \text{Entre baixo e alto}) = \{\text{Baixo, Médio, Alto}\};$

2.4.3. Operadores de agregação DHFS

Embasado nos conceitos propostos por Zhu, Xu e Xia (2012), Wang et al. (2014) desenvolveu alguns operadores de agregação, dentre eles, o *Dual Hesitant Fuzzy weighted Average* (DHFWA) que é utilizado para calcular médias ponderadas dos julgamentos baseados no DHFS (ZENG *et al.*, 2018; LI, 2014).

Seja $\tilde{d}_j = (\tilde{h}_j, \tilde{g}_j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) um grupo de elementos DHF, e $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ o vetor de pesos relacionados a \tilde{d}_j com $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$, então o operador de agregação DHFWA pode ser representado pela Equação 10 a seguir (WANG, 2014):

$$\begin{aligned} DHFWA(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_n) &= \bigoplus_{j=1}^n (\omega_j \tilde{d}_j) \\ &= \bigcup_{\tilde{\gamma}_j \in \tilde{h}_j, \tilde{\eta}_j \in \tilde{g}_j} \left\{ \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \gamma_j)^{\omega_j} \right\}, \left\{ \prod_{j=1}^n (\eta_j)^{\omega_j} \right\} \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

O operador de agregação *Dual Hesitant Fuzzy weighted geometric* (DHFVG) é utilizado para calcular médias geométricas ponderadas e é representado pela Equação 11 a seguir:

$$\begin{aligned} DHFVG(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_n) &= \bigoplus_{j=1}^n (\tilde{d}_j)^{\omega_j} \\ &= \bigcup_{\tilde{\gamma}_j \in \tilde{h}_j, \tilde{\eta}_j \in \tilde{g}_j} \left\{ \left\{ \prod_{j=1}^n (\gamma_j)^{\omega_j} \right\}, \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \eta_j)^{\omega_j} \right\} \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

Como pode ser observado, os operadores de agregação DHFWA e DHFVG e as leis operacionais básicas do DHFS apresentam operações diferentes para as informações

de pertencimento e não pertencimento de um elemento DHF. Dessa forma, os diferentes operadores de agregação podem ser relacionados com o comportamento dos tomadores de decisão (JUN LI *et al.*, 2004). No entanto, em vários problemas de decisão, deseja-se modelar as opiniões de forma neutra, e nestes casos, as informações de pertencimento e não pertencimento devem ser tratadas de maneira justa (XIA; XU, 2012). Portanto, Zhao, Xu e Liu (2016) propuseram o operador de agregação *symmetric dual hesitant fuzzy weighted averaging* (SDHFWA) que atribui a cada elemento DHF a mesma importância no processo de agregação de informações. O SDHFWA pode ser apresentado como na Equação 12:

$$SDHFWA(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_n) = \bigcup_{\tilde{\gamma}_j \in \tilde{h}_j, \tilde{\eta}_j \in \tilde{g}_j} \left\{ \left\{ \frac{\prod_{j=1}^n (\gamma_j)^{\omega_j}}{\prod_{j=1}^n (\gamma_j)^{\omega_j} + \prod_{j=1}^n (1-\gamma_j)^{\omega_j}} \right\}, \left\{ \frac{\prod_{j=1}^n (\eta_j)^{\omega_j}}{\prod_{j=1}^n (\eta_j)^{\omega_j} + \prod_{j=1}^n (1-\eta_j)^{\omega_j}} \right\} \right\} \quad (12)$$

Conforme demonstrado por Zhao, Xu e Liu (2016), o operador de agregação SDHFWA assume um papel mais neutro, enquanto o DHFWG apresenta um posicionamento mais pessimista e o DHFWA mais otimista. Dessa forma, $DHFWG(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_n) \leq SDHFWA(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_n) \leq DHFWA(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_n)$.

2.4.4. Relações de preferências DHFS

Muitos processos de tomada de decisão baseiam suas avaliações em comparações pareadas entre alternativas, e para isso, técnicas tradicionais tais como AHP (LIMA *et al.*, 2018; TAYLAN *et al.*, 2018), ELECTRE (de MORAIS BEZERRA; MELO; COSTA, 2017; SHEN; XU; XU, 2016) e PROMETHEE (GAGATSI *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2016) são utilizadas para representar as relações de preferência. Esse tipo de avaliação vem sendo muito aplicado em decisões que envolvem a elicitação do problema, tal como a ponderação dos critérios ou dos tomadores de decisão (YANIE *et al.*, 2018; KUSUMAWARDANI; AGINTIARA; 2015; VINODH; PRASANNA; PRAKASH, 2014).

Para considerar a imprecisão dos processos de tomada de decisão, abordagens baseadas em comparações pareadas são propostas na LITERATURA (CAMCI; TEMUR; BESKESE, 2018; JAMI POUR *et al.*, 2017). Para a representação DHF, Zhao, Xu e Liu

(2016) também apresentaram uma nova metodologia para lidar com relações de preferência. Neste estudo, as avaliações de preferência individuais são agregadas por operadores de agregação. Além disso, um o operador de compatibilidade é proposto como uma boa forma de mensurar o consenso entre as avaliações dos decisores. Abaixo é apresentado o operador de compatibilidade entre *Dual Hesitant Fuzzy Preference Relations* (DHFPR):

Sejam $R^{(k)} = (d_{ij}^{(k)})_{m \times m}$ e $R^{(l)} = (d_{ij}^{(l)})_{m \times m}$, duas matrizes DHFPRs. Suponha que para $i, j = 1, 2, \dots, m$, $d_{ij}^{(k)} = (h_{ij}^{(k)}, g_{ij}^{(k)})$ e $d_{ij}^{(l)} = (h_{ij}^{(l)}, g_{ij}^{(l)})$, então o grau de compatibilidade $c_1(R^{(k)}, R^{(l)})$ entre $R^{(k)}$ e $R^{(l)}$ é definido pela Equação (13):

$$c_1(R^{(k)}, R^{(l)}) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\frac{1}{\#h_{ij}} \sum_{t=1}^{\#h_{ij}} (h_{ij\sigma(t)}^{(k)} h_{ij\sigma(t)}^{(l)}) + \frac{1}{\#g_{ij}} \sum_{s=1}^{\#g_{ij}} (g_{ij\sigma(s)}^{(k)} g_{ij\sigma(s)}^{(l)}) + \overline{\pi^{(k)}}_{ij} \overline{\pi^{(l)}}_{ij})}{[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\frac{1}{\#h_{ij}} \sum_{t=1}^{\#h_{ij}} (h_{ij\sigma(t)}^{(k)})^2 + \frac{1}{\#g_{ij}} \sum_{s=1}^{\#g_{ij}} (g_{ij\sigma(s)}^{(k)})^2 + \overline{\pi^{(k)}}_{ij}^2)]^{\frac{1}{2}} [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\frac{1}{\#h_{ij}} \sum_{t=1}^{\#h_{ij}} (h_{ij\sigma(t)}^{(l)})^2 + \frac{1}{\#g_{ij}} \sum_{s=1}^{\#g_{ij}} (g_{ij\sigma(s)}^{(l)})^2 + \overline{\pi^{(l)}}_{ij}^2)]^{\frac{1}{2}}} \quad (13)$$

Sendo que para $a = k, l$, $\overline{\pi^{(a)}}_{ij} = 1 - \sum_{t=1}^{\#h_{ij}^{(a)}} (\#h_{ij\sigma(t)}^{(a)}) / \#h_{ij}^{(a)} - \sum_{s=1}^{\#g_{ij}^{(a)}} (\#g_{ij\sigma(s)}^{(a)}) / \#g_{ij}^{(a)}$. $h_{ij\sigma(t)}^{(a)}$ é o t-ésimo menor elemento em $h_{ij}^{(a)}$, e $g_{ij\sigma(s)}^{(a)}$ o s-ésimo menor elemento em $h_{ij}^{(a)}$, por exemplo, caso $t = 1$, então é o primeiro menor elemento e caso $s = 2$, é o segundo menor elemento. Dessa forma, caso o número de elementos seja diferente entre as avaliações comparadas, a avaliação com o menor número de elementos repete a maior avaliação até ter o mesmo número de elementos que estão sendo comparados.

Os números de elementos são definidos conforme $\#h_{ij} = \max\{\#h_{ij}^{(k)}, \#h_{ij}^{(l)}\}$ e $\#g_{ij} = \max\{\#g_{ij}^{(k)}, \#g_{ij}^{(l)}\}$, sendo $\#h_{ij}^{(a)}$ e $\#g_{ij}^{(a)}$ os números de elementos em $h_{ij}^{(a)}$ e $g_{ij}^{(a)}$, respectivamente. Este operador de compatibilidade satisfaz as seguintes propriedades (ZHAO, XU; LIU, 2016):

- $0 \leq c_1(R^{(k)}, R^{(l)}) \leq 1$;
- $c_1(R^{(k)}, R^{(l)}) = 1 \Leftrightarrow R^{(k)} = R^{(l)}$;
- $c_1(R^{(k)}, R^{(l)}) = c_1(R^{(l)}, R^{(k)})$;
- Se $c_1(R^{(k)}, R^{(l)}) = 1$ e $c_1(R^{(l)}, R^{(z)}) = 1$, então $c_1(R^{(k)}, R^{(z)}) = 1$;

- Se, para todo $i, j = 1, 2, \dots, m$, $\#h_{ij}^{(k)} = \#h_{ij}^{(l)}$ e $\#g_{ij}^{(k)} = \#g_{ij}^{(l)}$, então $c_1(R^{(k)}, R^{(l)}) = c((R^{(k)})^T, (R^{(l)})^T)$, sendo $(R^{(a)})^T$ a transposição de $R^{(a)}$ ($a = k, l$).

Sendo assim, $R^{(k)}$ e $R^{(l)}$ são perfeitamente compatíveis se e somente se $R^{(k)} = R^{(l)}$, isto é, $c_1(R^{(k)}, R^{(l)}) = 1$. Do contrário, $R^{(k)}$ e $R^{(l)}$ apresentam o pior nível de compatibilidade se $c_1(R^{(k)}, R^{(l)}) = 0$. Pode-se afirmar então que, quanto maior o valor $c_1(R^{(k)}, R^{(l)})$, maior a compatibilidade entre $R^{(k)}$ e $R^{(l)}$. Para os problemas que se deseja o consenso entre os decisores, quanto maior o valor da compatibilidade, melhor é o nível de consenso, e conseqüentemente, o nível de concordância entre os decisores é maior.

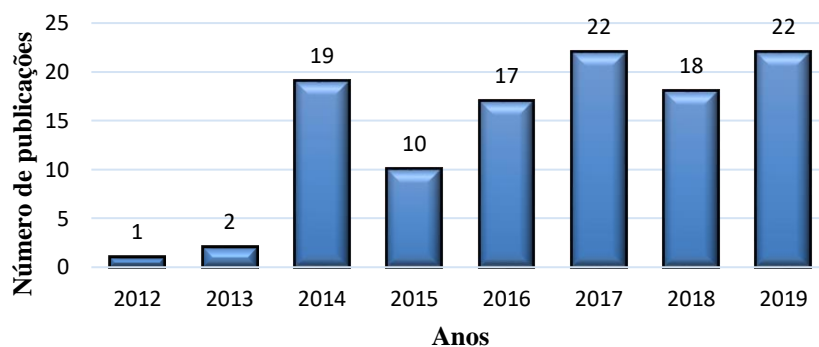
2.4.5. Aplicações Dual Hesitant Fuzzy

Seguindo os passos apresentados na Seção 1.3, um levantamento sistemático foi realizado para se avaliar os artigos que utilizaram a abordagem DHF. Sendo assim, a palavra-chave “*Dual Hesitant Fuzzy*” foi aplicada nas bases de dados, retornando um total de 116 estudos publicados até o final de 2019.

A partir de sua proposição, o *Dual Hesitante Fuzzy Sets* apresentou um rápido aumento na quantidade de estudos que vêm desenvolvendo a abordagem e/ou aplicando para diferentes tipos de contextos. A Figura 7 apresenta a evolução do número de publicações ao longo dos anos com relação ao DHFS. Apesar da abordagem ser recente, a sua origem é baseada na combinação das generalizações *fuzzy Intuitionistic Fuzzy* e *Hesitant Fuzzy*, que já são amplamente difundidas na literatura de tomada de decisão em grupo (QU *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2017).

Apesar do rápido incremento no número de publicações relacionados a abordagem, de acordo com a Figura 8, é possível verificar que o tema ainda está muito concentrado em poucos países. A China é o país que mais publica artigos de DHFS com 82% de participação, seguida pela Índia com 10% das contribuições. Não foi encontrado nenhum país do continente americano que tenha estudos relacionados com DHFS.

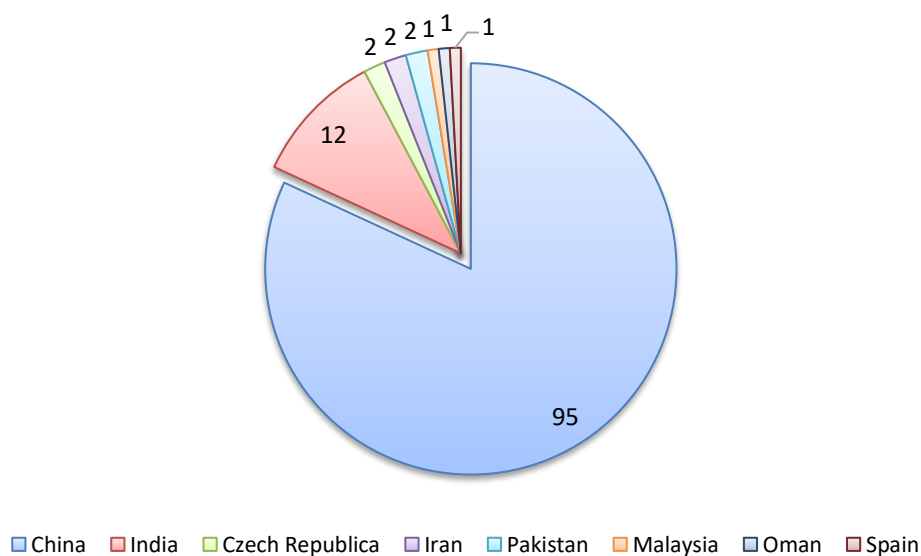
Figura 7 - Número de artigos de DHF publicados ao longo dos anos.



Fonte: própria autoria.

Em relação a disseminação do conteúdo pelos periódicos é possível verificar uma concentração de artigos no *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, com 22,4% do total das contribuições levantadas. O Quadro 4 apresenta a relação dos periódicos que publicaram mais de uma vez artigos que utilizam a abordagem DHF. Entretanto, considerando-se os últimos anos de 2019 e 2020, observa-se uma grande disseminação do tema em variados periódicos de alto impacto, tais como *Computers & Industrial Engineering*, *Information Sciences* e *Symmetry* por exemplo.

Figura 8 - Distribuição dos artigos de DHF de acordo com o país da universidade do primeiro autor.



Fonte: Própria autoria.

Quadro 4: Número de artigos com DHF publicados em cada periódico.

Periódicos	Número de artigos
Journal of Intelligent & Fuzzy Systems	28
IEEE Access	4
Information Sciences	4
Journal of Applied Mathematics	4
Symmetry	4
Applied Soft Computing	3
IEEE International Conference	3
Knowledge-Based Systems	3
Mathematical Problems in Engineering	3
Neural Computing and Applications	3
Soft Computing	3
International Journal of Machine Learning and Cybernetics	2
International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems	2
Applied mathematical modelling	2
Cluster Computing	2
Cognitive Computation	2
Computational and Applied Mathematics	2
Computers & Industrial Engineering	2
Engineering Applications of Artificial Intelligence	2
Information	2
International Journal for Uncertainty Quantification	2
International Journal of Intelligent Systems	2
International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems	2
Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing	2

Fonte: própria autoria.

Em relação às aplicações, os artigos foram caracterizados conforme apresentado no Quadro 5. Apesar da variedade de aplicações, ainda se observa uma pequena preocupação com aspectos sustentáveis com apenas 4,3% dos estudos abordando temas correlacionados (QI; ZHANG; LIANG, 2018; QU *et al.*, 2017; QI *et al.*, 2017; QU *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2016). Além disso, a maioria dos estudos estão desenvolvendo avanços na abordagem DHF, como por exemplo a proposta de novos operadores de agregação (LIANG *et al.*, 2019; ZHANG; JIAN; SU, 2019), métodos de avaliação de distância entre avaliações (LIU *et al.*, 2019; CHEN; HUANG; TANG, 2018), entre outros, conforme apresentado no gráfico da Figura 9. Dessa forma, as aplicações são mais ilustrativas para elucidação da aplicabilidade da proposta.

Quadro 5 - Classificação das aplicações dos estudos com DHFS.

Temas de aplicações	Referências
Avaliação e/ou seleção de fornecedores: artigos que apresentam problemas relacionados ao processo de escolha de um fornecedor novo ou avaliação do desempenho de fornecedores ou serviços já existentes	Yu, Zhang e Huang 2016; Qu et al., 2017; Qu et al., 2016; Qi, Zhang, and Liang, 2018; Wei, 2017; Li et al., 2019; Ren, Xu and Wang, 2017; Yu, Li and Merigo, 2016; Zhao, Xu and Liu, 2016; Zhang, Li and Liao, 2018; Wei, 2017; Wang, Ding and Ding, 2016.
Avaliação e/ou seleção de investimentos: seleção de carteiras de investimento e priorização de investimentos em projetos.	Ju, Liu and Yang, 2014; Ju, Yang and Liu, 2014; Singh, 2017; Tang et al., 2017; Yang and Ju, 2014; Yang and Ju, 2015; Ye, 2014; Zang, Zhao and Li, 2018; Zang, Zhao and Li, 2018; Tang, Yang and Pedrycz, 2018; Chen, Xu and Yang, 2019; Gong and Chen, 2019; Liu et al., 2019; Qu et al., 2019; Jamil and Rashid, 2018; Ju, Zhang and Yang, 2014; Liang et al., 2020; Xu, Rui and Wang, 2015; Liang et al., 2019; Peng, Daí and Liu, 2018; Xue, Tang and Feng, 2016; Li, Zhuang and Ren, 2019.
Aplicações médicas: identificação de doenças; avaliações de riscos hospitalares; avaliação de baldeação de sangue.	Liang, Xu and Liu, 2017; Zhang, Li and Yan, 2015; Xu et al., 2019; Zhang et al., 2017; Wu et al., 2019; Wang, Ni and Zhu, 2013; Zhang et al., 2018; Zhang et al., 2019; Arora and Garg, 2018; Farhadinia, 2014; Garg, Kaur, 2020; Garg and Arora 2017; Yu, 2015; Chen and Huang, 2017.
Avaliação e/ou seleção de equipamentos e sistemas: identificação dos melhores equipamentos e materiais; seleção de sistemas de tecnologia e informação; seleção de sistemas de segurança.	Qu et al., 2018; Maity et al., 2019; Zhang, 2015; Zhang, 2016; Chen, Huang and Tang, 2018; Yu, Merigó and Xu, 2016; Ju, Yang and Liu, 2014; Lu and Wei, 2016; Zhang, Li and Ju, 2014; Qu, Qu and Li, 2017; Wang et al., 2014; Wang, Zhao and Wei, 2014; Chen et al., 2014

Continua na próxima página.

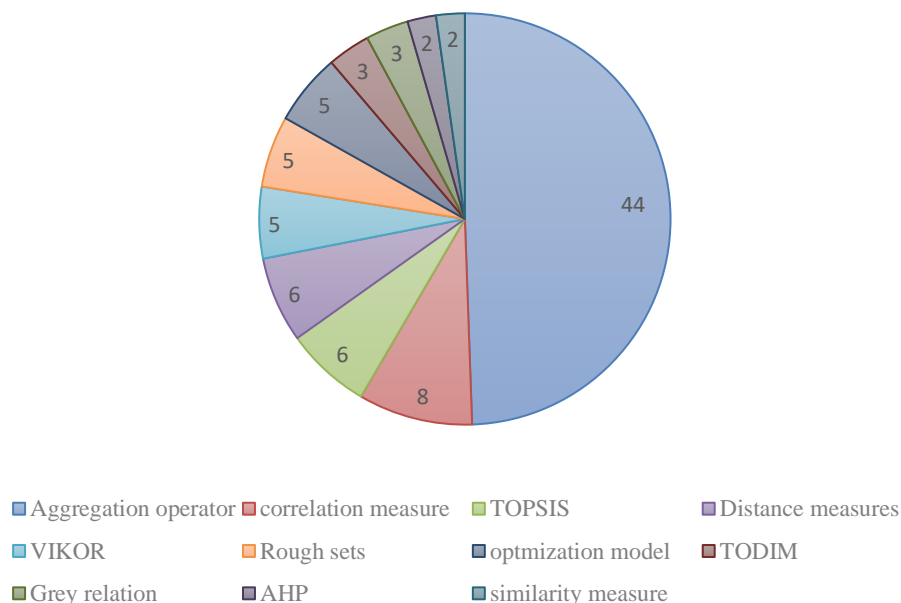
Continuação do Quadro 5 - Classificação das aplicações dos estudos com DHFS.

Temas de aplicações	Referências
Decisões estratégicas: seleção de estratégias; seleção de locais de instalação; decisões estratégicas militares;	Wang et al., 2016; Huang, Cai, and Cai, 2013; Ren, Xu and Wang, 2017; Wang, 2016; Jana and Roy, 2019; Meng, Xu and Wang, 2019; Narayanamoorthy et al., 2019; Jana and Roy, 2018; Ren, Xu and Wang, 2019; Zhu et al., 2018; Ren, Xu and Wang, 2017.
Recursos humanos: alocação de pessoal; seleção de colaboradores; avaliação de desempenho.	Su et al., 2019; Yu, 2014; Garg and Kaur, 2019; Rodzi, 2020; Bashir et al., 2019; Ren and Wei, 2017; Yu and Li, 2014; Singh, 2014;
Planos de Emergência: avaliação de soluções para respostas em emergências; planos de resgate	Zhang, Jian and Su, 2019; Qi et al., 2017; Garg and Arora, 2019; Zhang et al., 2016; Garg and Arora 2018.
Desenvolvimento de produtos: avaliação da qualidade de projetos e design de produtos	Li, 2014; Xu, 2016; Qiu, 2017

Fonte: Adaptado de Calache et al. (2021a).

Destaca-se que até o momento poucas técnicas multicritério foram combinadas com a abordagem DHF e poucos modelos de tomada de decisão foram propostos (LU; WEI, 2016; WANG; DING; DING, 2016; XU, 2016; ZHANG, 2016). As abordagens de consenso propostas até o momento estão relacionadas à diminuição entre as distâncias das avaliações entre os tomadores de decisão, e para isso, modelos de otimização vem sendo propostos (GONG; CHEN, 2019; MAITY *et al.*, 2019). Devido ao grau de complexidade das abordagens baseadas no *Dual Hesitant Fuzzy*, os modelos de otimização apresentam múltiplos objetivos e/ou programações não lineares (QU *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2019). Não foram encontrados artigos que combinem meta-heurísticas com o DHFS, o que pode trazer uma menor complexidade na resolução desses problemas (EHRGOTT; GANDIBLEUX, 2008; VIANA; DE SOUZA, 2000).

Figura 9 - Técnicas utilizadas em conjunto com DHFS.



Fonte: Própria autoria.

2.5. ALGORÍTMOS EVOLUTIVOS APLICADOS À TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO

A maioria dos problemas de otimização do mundo real tem vários objetivos conflitantes, e por isso, nas últimas décadas, a otimização multiobjetivo atraiu muitos interesses de pesquisa (NAG; PAL; PAL, 2014). A tomada de decisão em grupo por consenso normalmente envolve um processo de solução de problemas multiobjetivo, no qual cada indivíduo é a unidade mínima de tomada de decisão, e sua opinião pode ser considerada como um sub-objetivo (GONG *et al.*, 2015). Na construção de consenso em ambientes multiobjetivos, a obtenção de um consenso entre várias partes interessadas, que valorizam objetivos diferentes de maneira diferente, pode exigir uma troca entre a maximização geral da soma ponderada dos impactos individuais das partes interessadas e a consideração ou o equilíbrio dos impactos de outras partes interessadas (TAKAYANAGI; MIZUTANI; LOUCKS, 2011).

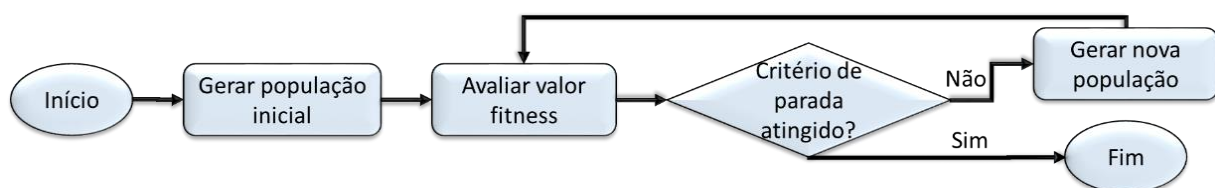
Devido à complexidade dos modelos de decisão e esforços computacionais exigidos, os algoritmos evolutivos foram aplicados como métodos alternativos de pesquisa heurística para encontrar soluções adequadas (QU *et al.*, 2021). Algoritmos evolutivos são algoritmos desenvolvidos com inspirações biológicas que fornecem soluções não

otimizadas, mas de boa qualidade para problemas cuja resolução pode ser muito lenta ou impraticável por métodos exatos (PÉTROWSKI; BEN-HAMIDA, 2017). Segundo Yu e Gen (2010), algoritmos evolutivos são algoritmos que realizam tarefas de otimização ou aprendizagem com a capacidade de evoluir e possuem três principais características:

- Baseado em população: o algoritmo mantém um grupo de soluções, chamada de população, que busca boas soluções ou aprender o problema de forma paralela. A população é tida como um princípio básico do processo de evolução.
- Orientado para a aptidão: cada solução em uma população é chamada de indivíduo. Cada indivíduo tem sua representação dada pelo gene, também chamada de código, e a avaliação de desempenho conhecida como valor fitness. Os algoritmos preferem os indivíduos mais aptos com melhores valores fitness, o que é tido como um fundamento do processo de otimização e convergência.
- Orientado por variações: os indivíduos serão submetidos a um número de operações de variações para imitar mudanças com inspirações biológicas, que são fundamentais para explorar o espaço de soluções.

A Figura 10 apresenta o processo genérico adotado pelos algoritmos evolutivos. Após a inicialização, a população é avaliada e os critérios de parada são verificados. Se nenhum dos critérios de parada é cumprido, uma nova população é gerada novamente e o processo é repetido até que um ou mais dos critérios de parada sejam atendidos. Um critério de parada pode ser estático ou dinâmico. O critério de parada estático permite que um algoritmo funcione para um determinado número de iterações. Já um exemplo de critério de parada dinâmico é repetir o processo até que as k melhores soluções estejam dentro de algum percentual de melhores soluções encontradas (KACHITVICHYANUKUL, 2012).

Figura 10 - Processo genérico de um algoritmo evolutivo.



Fonte: própria autoria.

Dentre os algoritmos evolutivos existentes, o algoritmo genético (*Genetic Algorithm* - GA) e o algoritmo de otimização por enxame de partículas (*Particle swarm optimization* - PSO) se destacam na literatura. O PSO é tido como um dos algoritmos heurísticos mais simples em termos de complexidade de equações. Já o GA é um algoritmo de otimização baseado na genética da evolução natural e de busca global, evitando soluções localmente ideais (OUARDA; BOUAMAR, 2014). Dessa forma, esses dois tipos de algoritmos evolutivos se tornaram os mais aplicados em diversos contextos (ABDELKADER *et al.* 2019; KATOCH *et al.* 2020; WU *et al.* 2018), inclusive em problemas de tomada de decisão em grupo (CALACHE *et al.*, 2022). Entretanto, nenhum estudo observado até o momento apresenta uma revisão da literatura sobre esse tema.

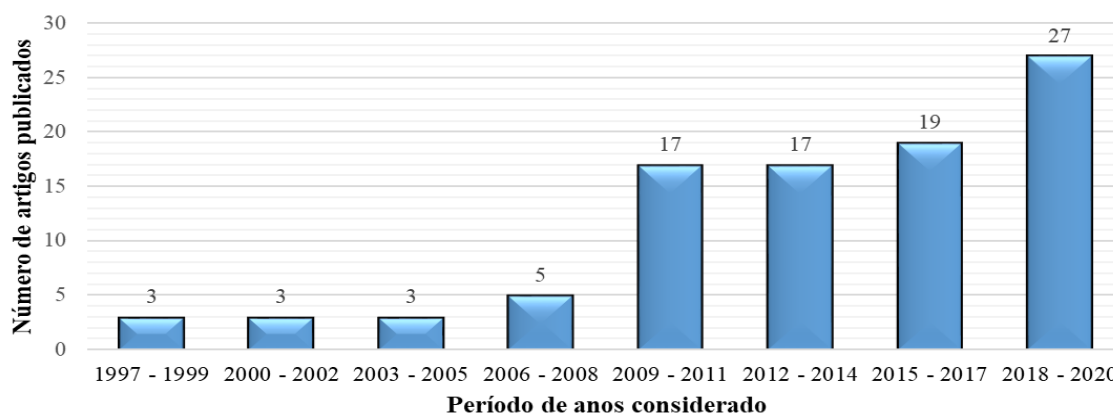
Para apresentar o estado da arte sobre a aplicação dos algoritmos evolutivos GA e PSO em problemas de tomada de decisão em grupo, uma revisão sistemática foi conduzida. Os passos da revisão seguiram o método apresentada anteriormente na Seção 1.4.

Nesta revisão buscou-se analisar as aplicações de algoritmos evolutivos nos problemas de decisão em grupo. Para isso, os principais algoritmos evolutivos aplicados ao tema foram considerados com o objetivo de entender o estado da arte e verificar possibilidades de avanços no tema. O conjunto de palavras {"Genetic Algorithm" AND "Group Decision"} OR {"Particle Swarm Optimization" AND "Group Decision"} foi aplicado, retornando um total de 104 artigos na base Web of Science e 107 artigos na SCOPUS até o final de março de 2021. Todos os artigos de periódicos, congressos e livros retornados da pesquisa foram avaliados. Inicialmente as duplicidades foram eliminadas, e em seguida, o conteúdo dos artigos foram analisados para garantir a seleção dos estudos que realmente estão no escopo de pesquisa. Caso o artigo não aplicasse o GA ou PSO em um problema considerando um grupo de tomadores de decisão, o artigo era excluído da análise. No total 97 artigos foram selecionados para a fase seguinte. Os 97 artigos selecionados foram lidos e classificados de acordo com o ano de publicação, país de origem da universidade do primeiro autor, periódico, número de citações, tema de aplicação, busca por consenso ou não, representação da informação, técnica combinada, se aborda um problema multicritério ou não, número de tomadores de decisão considerados e número de critérios avaliados.

O desenvolvimento dos algoritmos evolutivos teve início na década de 60 (YU; GEN, 2010), porém, as aplicações em problemas de decisão de grupo iniciaram somente a partir da década de 90 (AIKEN, 1997). Desde então, o número de estudos relacionados ao

tema apresenta um crescimento ao longo dos anos, conforme demonstrado pelo gráfico na Figura 11. Esse crescimento reflete a ampla flexibilidade de aplicação dos algoritmos GA e PSO na resolução de diferentes tipos de problemas.

Figura 11 - Número de artigos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo publicados ao longo dos anos.



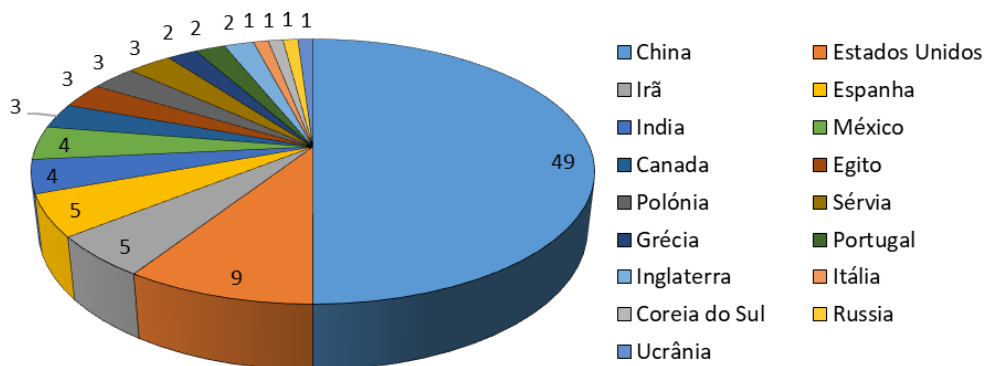
Fonte: própria autoria.

Apesar do crescimento no número de publicações e grande difusão dos algoritmos, existe uma concentração dos estudos sobre o tema em poucos países. A Figura 12 apresenta um gráfico com o número de artigos publicados de acordo com a nacionalidade da universidade do primeiro autor. Até o período considerado nessa revisão, apenas 17 países apresentaram estudos publicados sobre o tema, com uma grande colaboração da China com 50,5% do total dos estudos, seguida pelo Estados Unidos com 9,3% de participação no levantamento. A identificação desses países pode ser útil para a prospecção de parcerias para colaborações internacionais.

Devido à flexibilidade de aplicação desses algoritmos evolutivos, 55 periódicos e 17 congressos diferentes apresentam artigos encontrados nesse levantamento. É possível verificar uma concentração de artigos em periódicos focados no desenvolvimento e aplicação de modelos de tomada de decisão, principalmente envolvendo técnicas Soft Computing e representações de informação fuzzy. Entretanto, apenas 13 periódicos (18%) apresentam mais de um artigo relacionado ao tema em discussão, conforme ilustrado no gráfico da Figura 13. Esse levantamento pode contribuir para os autores identificarem os

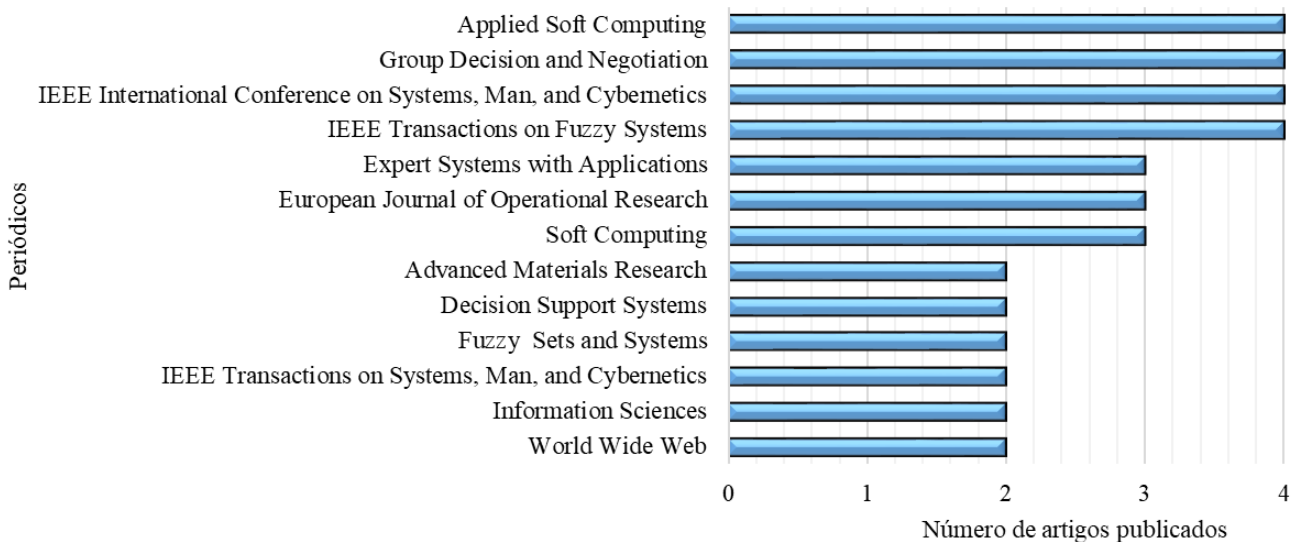
periódicos mais complacentes com o tema abordado, e assim direcionarem suas submissões de artigos.

Figura 12 - Participação dos países na publicação de artigos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.



Fonte: própria autoria.

Figura 13 - Número de artigos publicados por periódicos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.



Fonte: Própria autoria.

Embora vários problemas são apresentados e tratados pelos estudos, apenas 9 tipos de problemas são apresentados por mais de um estudo. Esses principais problemas abordados são apresentados e descritos pela Tabela 8.

Tabela 8 - Principais problemas abordados pelos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.

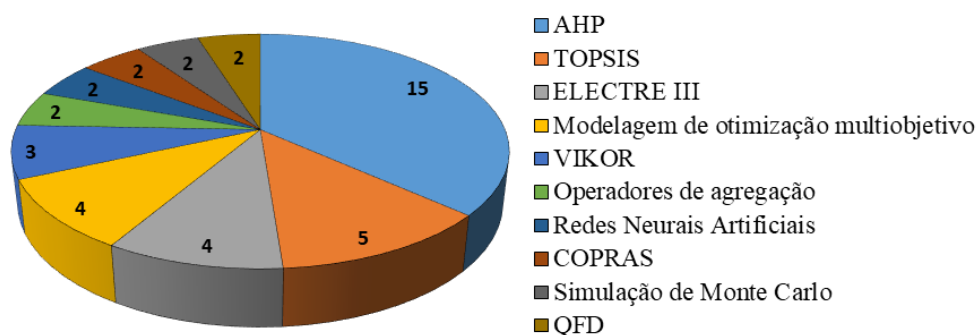
Tipos de problemas abordados	Artigos publicados
Seleção de Fornecedores: processo de avaliação e seleção de fornecedores, que são atividades relacionadas com a função de Compras, estabelecendo a relação de suprimento de materiais e serviços para a empresa.	Abdel-Baset et al (2019); Cabrerizo et al. (2013); Hajipour et al. (2020); Hao et al. (2020); Inti e Tandon (2017); Liu et al. (2007); Xu et al. (2010).
Seleção de investimentos: envolve a avaliação e seleção de carteiras de investimento ou priorização de investimentos.	Cabrerizo et al. (2013); Tan et al. (2018); Xu e Cai (2012); Zainashev (2010); Zhou et al. (2020).
Seleção de projetos: avaliação e seleção dos projetos disponíveis para a seleção do portfólio que trará maior benefício para a organização.	Álvarez et al. (2020); Liang et al. (2013); Piroozmand e Boroushaki (2016); Renzi e Leali (2016); Yang e Jiang (2009).
Fornecimento de água: envolve o gerenciamento do processamento e fornecimento de água para a população.	Álvarez et al. (2020b); Li et al. (2010); Li et al. (2011); Ghodsi et al. (2016).
Seleção de pessoas: avaliação e seleção de recursos humanos para determinada atividade ou função.	Lin e Hsu (2010); Liu et al. (2019); Wu et al. (2018).
Planos de emergência: avaliação e seleção de soluções e planos de contingência para respostas em situações emergências.	Li et al. (2014); Liu et al. (2020); Zhang et al. (2017).
Desenvolvimento de produtos: avaliação de design e características técnicas no desenvolvimento de produtos.	Liang et al. (2015); Liu et al. (2010); Renzi e Leali (2016).
Localização de facilidades: avaliação e seleção de pontos para a instalação de facilidades.	Simić et al. (2017); Tadić et al. (2019).
Desenvolvimento de navios: avaliação e seleção de características técnicas para navios.	Hou et al. (2011); Ölçer et al. (2006).

Fonte: própria autoria.

Na maioria dos estudos encontrados (53%), os algoritmos evolutivos GA e PSO são combinados com outras técnicas de tomada de decisão, principalmente com o objetivo de propor um modelo de decisão multicritério. O gráfico na Figura 14 apresenta as técnicas que foram encontradas em mais de um artigo, com ênfase para as técnicas multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) aplicada em 15% dos estudos seguido pelo Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS (5%). Nesse contexto, destacamos o artigo de Abdelkader *et al.* (2019) que combina ambos os algoritmos evolutivos com cinco diferentes técnicas multicritérios. Já o artigo com o maior número de citações combina o GA com o ELECTRE III (LEYVA-LOPEZ; FERNANDEZ-

GONZALEZ, 2003). Por outro lado, o artigo que apresenta o maior índice de citação, que leva em conta a razão entre o número de citações e o tempo de disponibilidade do artigo, apresenta a combinação do GA com as técnicas multicritério ANP e VIKOR para lidar com um problema de seleção de fornecedores sustentáveis (ABDEL-BASET, 2019).

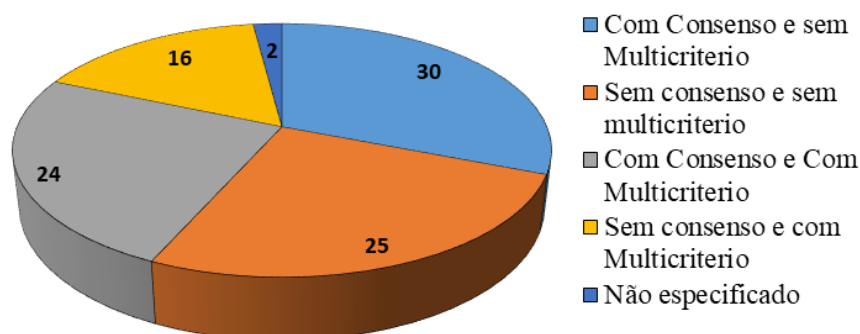
Figura 14 - Técnicas aplicadas em conjunto com os algoritmos evolutivos na tomada de decisão em grupo.



Fonte: própria autoria.

Um ponto interessante a ser observado nos estudos é a maior aplicação dos algoritmos em problemas que buscam o consenso dos tomadores de decisão, conforme representado no gráfico da Figura 15. Dessa forma, os modelos propostos buscam minimizar a divergência entre os tomadores de decisão envolvidos no processo de decisão, evitando assim, futuras contestações sobre o resultado obtido (ALVAREZ *et al.*, 2020; MOHAMADI *et al.*, 2019). Entretanto, poucos estudos combinam abordagens de consenso com técnicas multicritério, evidenciando novas oportunidades de aplicações de técnicas tais como ELECTRE TRI e PROMETHEE V utilizadas na categorização de alternativas e na seleção de portfólios respectivamente. Além disso, não foram observados estudos que apliquem métodos de estruturação de problemas, tais como Value Focused Thinking (VFT) e Strategic options development and analysis (SODA), que podem contribuir para uma melhor compreensão do problema analisado.

Figura 15 – Distribuição dos artigos de acordo com a abordagem adotada pelos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.



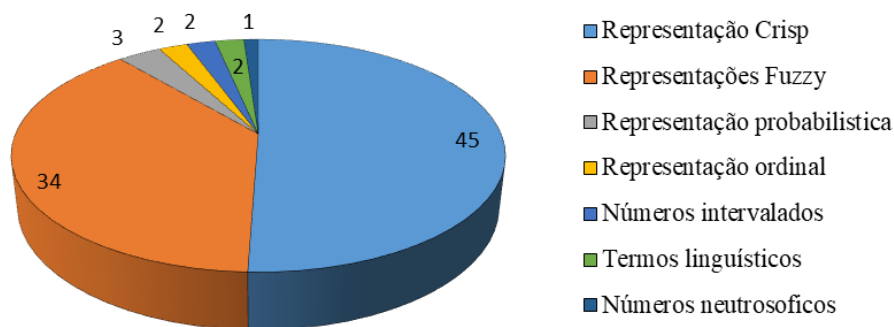
Fonte: própria autoria.

De acordo com as características de cada problema apresentado, diferentes tipos de representações de informação são utilizados pelos estudos. Para lidar com os julgamentos subjetivos dos tomadores de decisão, uma crescente parcela dos estudos utiliza as representações fuzzy de informação. Entretanto, a maioria dos estudos utilizam números “crisp” para representar os dados analisado, conforme detalhado no gráfico da Figura 16. Dentre os artigos selecionados, nenhum estudo utiliza representações que são capazes de lidar com imprecisões advindas da hesitação dos tomadores de decisão, tais como o Hesitant Fuzzy, o Dual Hesitant Fuzzy e o Double Hierarchy Hesitant Fuzzy por exemplo. Dessa forma, uma oportunidade de estudo futuro identificada é a utilização dessas novas representações de informações em algoritmos evolutivos, possibilitando aos modelos de tomada de decisão lidarem com mais tipos de fontes de imprecisão advindas da linguagem natural utilizada na coleta de julgamentos.

Outros pontos levantados pelo presente estudo foi o número de tomadores de decisão e o número de critérios considerados pelos artigos selecionados na revisão. Esses valores interferem diretamente na complexidade computacional dos algoritmos implementados nos modelos de decisão propostos nos estudos. Esses dados são importantes para analisar as principais característica e demandas desses modelos. A grande maioria dos estudos lidam com uma pequena quantidade de tomadores de decisão, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 17. Dessa forma 84 % dos estudos consideram 10 ou menos tomadores de decisão, sendo 64% referentes a 6 ou menos. Apenas 7 % dos artigos lidam

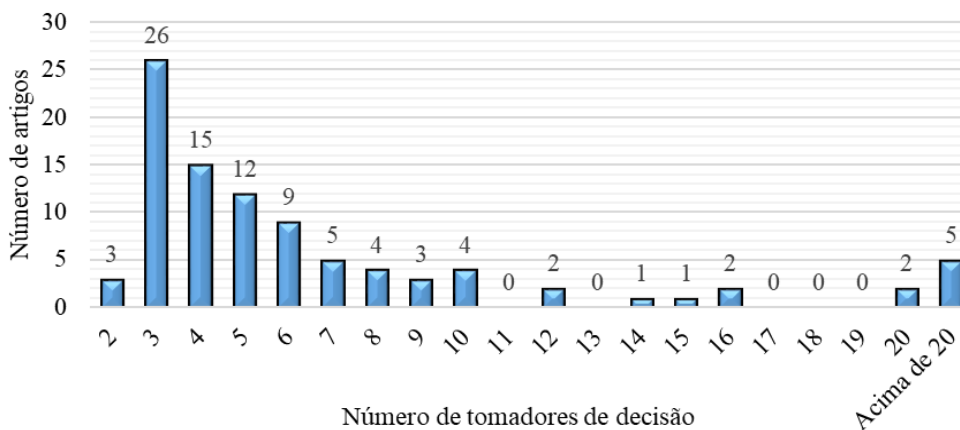
com um grupo de 20 ou mais tomadores de decisão. Destaca-se o estudo de Chen et al. (2011) que testa 13 tamanhos distintos de grupos de tomadores de decisão, variando entre 3 e 25 participantes.

Figura 16 - Representações de informação utilizadas pelos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.



Fonte: própria autoria.

Figura 17 - Número de tomadores de decisão considerados nos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.

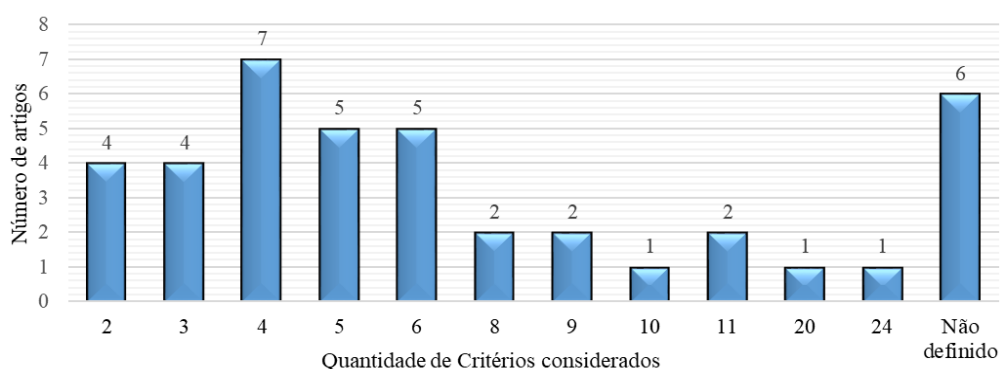


Fonte: própria autoria.

Conforme apresentado anteriormente, a maioria dos estudos não aplicam técnicas multicritério e acabam lidando com um único critério de tomada de decisão. Dentre os artigos que consideram mais de um critério no modelo de decisão, a maioria utiliza menos

de 6 critérios (69 %), conforme apresentado pelo gráfico da Figura 18. Além disso, alguns estudos propõem modelos de decisão genéricos, sem testar a capacidade de lidar com variados números de critérios analisados. Entretanto, os artigos não lidam com o processo de elicitação dos pesos dos critérios e dos tomadores de decisão ao mesmo tempo. Dentre os artigos analisados, destaca-se o estudo de Lee *et al.* (2012) que lida com a análise de 24 critérios distintos.

Figura 18 - Número de critérios considerados nos estudos de GA e PSO aplicados na tomada de decisão em grupo.



Fonte: própria autoria.

Finalmente, sobre os algoritmos GA e PSO, os principais tipos aplicados são os multiobjetivos MOGA (*multi-objective genetic algorithm*) e MOPSO (*multi-objective particle swarm optimization*) com destaque para o NSGA II (*Non-dominated Sorting Genetic Algorithm*), sendo o algoritmo mais aplicado nos artigos selecionados (ÁLVAREZ *et al.*, 2015; GHODSI *et al.*, 2016; KADZIŃSKI; TOMCZYK, 2017; HAJIPOUR *et al.*, 2020; HAO *et al.* 2020). Além disso, identifica-se a oportunidade de combinar outros algoritmos específicos baseados no GA e no PSO para lidar com outros tipos de informação. Por exemplo, o BRKGA (*Biased Random Key Genetic Algorithm*) pode ser combinado com representações fuzzy que possuem o intervalo de pertencimento [0,1].

De uma forma geral, esse levantamento possibilitou observar a importância do tema que apresenta crescimento no número de estudos realizados ao longo dos anos. Esse crescimento pode ser explicado pela flexibilidade de aplicação dos algoritmos em diversos problemas de tomada de decisão. Além disso, os algoritmos podem ser facilmente

combinados com diferentes técnicas de tomada de decisão, possibilitando inclusive a combinação de diferentes técnicas multicritério. Ademais, diferentes representações de informações foram utilizadas pelos estudos, com destaque para o crescimento das aplicações dos conjuntos *fuzzy* que buscam lidar com imprecisões advindas de julgamentos subjetivos dos tomadores de decisão. Outro ponto a ser destacado é a grande participação dos estudos que buscam um modelo de consenso entre os tomadores de decisão, evitando assim futuras contestações sobre o resultado obtido no processo de tomada de decisão.

2.6. ALGORITMO GENÉTICO PARA CONSENSO

Proposto inicialmente por John Holland (1975), o desenvolvimento de algoritmos genéticos faz parte da área de aprendizado de máquina da computação evolutiva, orientado para a indução de programas de computação para a execução eficiente de tarefas definidas pelo usuário (KOZA, 1992). A computação evolucionária se inspira no fenômeno da evolução natural e imita a ideia darwiniana de sobrevivência do mais apto (MEENA; MINZ, 2019). Dessa forma, o algoritmo genético é um algoritmo de busca probabilística baseado na mecânica da seleção natural e na genética (KUMAR *et al.*, 2010). Os algoritmos genéticos (AG) são capazes de identificar soluções viáveis de forma eficiente, sem a necessidade de se ter previamente informações estruturais detalhadas sobre o espaço de pesquisa como entrada (LAU *et al.*, 2006). Como resultado, métodos multicritério de tomada de decisão e algoritmos evolutivos foram incorporados nos sistemas de suporte a tomada de decisão multicritério (LÓPEZ *et al.*, 2017). Estes foram implementados como ferramentas úteis para os tomadores de decisão estruturarem os problemas do grupo durante o processo e chegarem a um nível de consenso (LÓPEZ *et al.*, 2017). Uma revisão apresentada por Katoch *et al.* (2020) mostra que o Algoritmo Genético e as suas variantes têm sido aplicados com sucesso em vários campos para vários problemas, e em alguns dos problemas apresentados, o AG aplicado apresenta o desempenho superior entre os algoritmos evolutivos analisados.

Os algoritmos genéticos foram aplicados como métodos alternativos de pesquisa heurística para encontrar soluções ótimas ou próximas das ótimas em vários campos de pesquisa (STEINER *et al.*, 2015; YU, 2012; DIEGO-MAS, 2009; TAMAKI; KITA; KOBAYASHI, 1996). Nesse contexto, diversos trabalhos vêm propondo a combinação de

abordagens multicritério de tomada de decisão para consenso com algoritmos genéticos tais como: combinação com AHP na gestão de recursos humanos (LIN; HSU, 2010) e na seleção de estratégias para desenvolvimento de produtos (YEH; KRENG; LIN, 2001); aplicação em conjunto com ELECTRE III para seleção de locais estratégicos (LEYVA-LOPEZ; FERNANDEZ-GONZALEZ, 2003); números *fuzzy* para avaliação de investimentos no fornecimento de água (LÓPEZ *et al.*, 2017), entre outros.

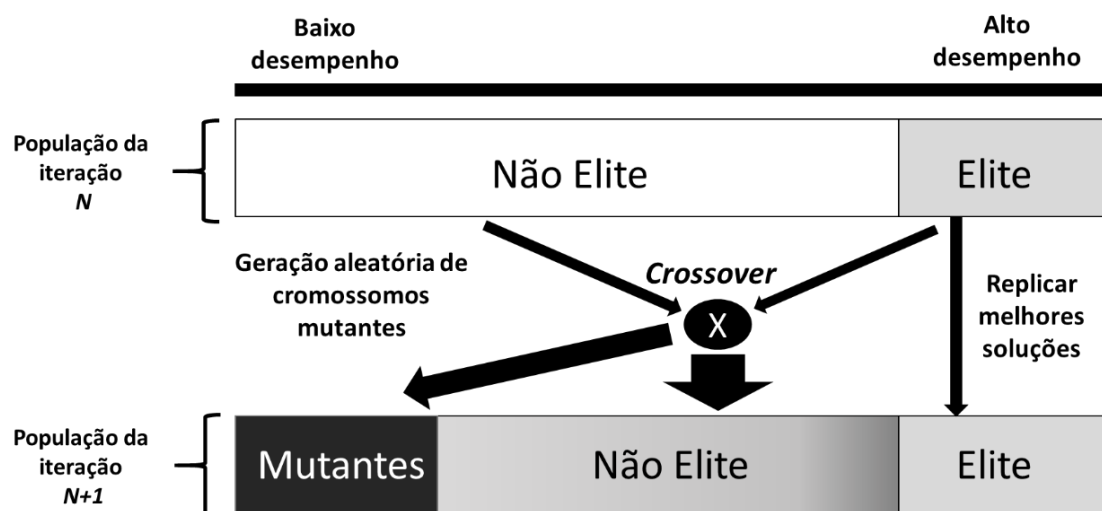
Os princípios básicos para a elaboração de um algoritmo genético são apresentados a seguir (MEENA; MINZ, 2019; KUMAR *et al.*, 2010):

- Inicialização da população: o algoritmo genético é inicializado com um conjunto de soluções chamado população. Cada solução é representada por um cromossomo e o tamanho da população é preservado ao longo de cada geração;
- Cálculo da aptidão: em cada geração o desempenho ou aptidão de cada cromossomo é avaliado de acordo com uma função de avaliação, ou seja, os cromossomos que irão compor a geração seguinte são selecionados probabilisticamente com base no desempenho. Um operador de seleção escolhe os cromossomos de uma população à qual é aplicado um operador genético.
- Seleção: várias abordagens podem ser utilizadas para definir os cromossomos "pais" que integrarão o processo de cruzamento. Após a seleção dos "cromossomos pais", o operador do *crossover* é aplicado para procurar melhores descendentes. Alguns dos cromossomos selecionados "cruzam" e produzem descendentes. Este procedimento é realizado por um operador de "*crossover*" que visa preservar e combinar as melhores características dos pais para desenvolver novas e melhores soluções. O operador de crossover procura também explorar o espaço de solução em diferentes direções para obter populações diferentes.
- Mutação: ao produzir os descendentes, o processo de mutação aleatória também ocorre. O operador de mutação é aplicado para obter uma melhor exploração do espaço de solução, tentando evitar, tanto quanto possível, picos e vales de soluções locais.

Uma abordagem para gerar uma nova população em cada interação de um algoritmo genético está representada na Figura 19 (CHAVES *et al.*, 2016; GONÇALVES; RESENDE, 2011). Dada uma população, esta é ordenada de acordo com o desempenho

dos cromossomos. Os cromossomos de melhor desempenho são categorizados como de elite. Os outros cromossomos são categorizados como não-elite. Os cromossomos da elite são repetidos na nova população. Os outros cromossomos são gerados pela operação de *crossover* entre cromossomos elites e não elites. Parte da nova população é gerada de acordo com um processo de mutação aleatória. Este procedimento é repetido iterativamente até que a condição final desejada seja satisfeita.

Figura 19- Geração de uma nova população pelo Algoritmo Genético.



Fonte: Adaptado de Gonçalves e Resende (2011).

Tradicionalmente, os cromossomas de uma população num algoritmo genético são representados por cadeias de bits. Entretanto, a utilização de representações numéricas reais para os cromossomas do algoritmo genético tem várias vantagens, tais como: é indicado para problemas de otimização numérica com variáveis contínuas devido à capacidade de se adaptar melhor; acelera os processos de pesquisa quando comparado com a representação de cadeias de bits; e facilita o desenvolvimento de métodos híbridos (MOHTASHAMI, 2014). Recentes propostas de algoritmos genéticos que codificam a solução como um vetor de números reais apresentaram resultados competitivos com uma variedade de possíveis aplicações em problemas de otimização (BIAJOLI; CHAVES; LORENA, 2019; PAITHANKAR; CHATTERJEE, 2019). Considerando-se um processo de obtenção de consenso, os elementos *dual hesitant fuzzy* (DHFE) podem ser codificados como vetores de números reais no intervalo $[0, 1]$, possibilitando assim, o desenvolvimento de um algoritmo genético para um processo de tomada de decisão.

2.7. OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION - PSO)

Proposto inicialmente por Kennedy e Eberhart (1995), o PSO é uma ferramenta de otimização estocástica que se baseia no comportamento social dos bandos de aves e dos cardumes de peixes, em que membros de um grupo tendem a seguir a liderança do melhor do grupo (CHOUDHARY *et al.*, 2020). No PSO, uma solução é representada como uma partícula, e a população de soluções pode ser traduzida como enxame de partículas. Cada partícula tem duas propriedades principais: a posição e a velocidade. As partículas se movem para uma nova posição de acordo com a velocidade. Para cada nova posição alcançada, a melhor posição de cada partícula e a melhor posição do grupo de soluções são atualizados. A velocidade de cada partícula é ajustada de acordo com suas experiências no algoritmo. O processo é repetido até que seja atingido um critério de parada (KACHITVICHYANUKUL, 2012).

Um tutorial para a implementação e aplicação do PSO é apresentado em Marini e Walczak (2015). A posição de uma partícula pode ser descrita por meio de um vetor $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{iD}\}$, em que D representa o número de parâmetros a serem otimizados. Já a população de N candidatos que constitui o enxame é representado por $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_N\}$. Para cada nova iteração $t + 1$ do algoritmo na busca da melhoria da solução de um problema, as partículas definem a trajetória no espaço dos parâmetros por meio da Equação 14.

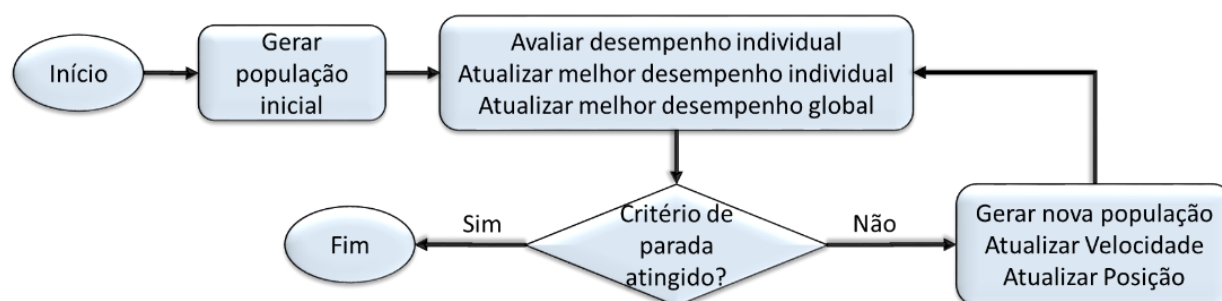
$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t + 1) \quad (14)$$

No qual v_i representa o vetor de velocidade dos componentes da partícula i , que direcionam a trajetória das partículas no espaço de soluções conforme representado pela Equação 15.

$$v_i(t + 1) = v_i(t) + c_1(p_i - x_i(t))R_1 + c_2(g - x_i(t))R_2 \quad (15)$$

Em que p_i é a coordenada da melhor solução obtida pela partícula i até o momento; g é a melhor solução global obtida por todo o enxame até o momento; c_1 e c_2 são constantes de aceleração respectivamente chamados de coeficiente cognitivo e coeficiente social com $0 \leq c_1, c_2 \leq 4$, e definem a magnitude do passo adotado por uma partícula na direção de sua melhor solução pessoal e melhor solução global. Para que os componentes sociais e cognitivos possuam uma influência de caráter estocástico sobre a regra de atualização da velocidade na Eq. 2, duas matrizes diagonais de números aleatórios R_1 e R_2 são geradas a partir de uma distribuição uniforme $[0, 1]$. Dessa forma, as trajetórias traçadas pelas partículas são de natureza semi-randômica, pois derivam da contribuição da atração sistemática para as melhores soluções individuais e globais e considera o peso estocástico desses dois termos de acelerações. O procedimento geral básico seguido pelo PSO é representado pela Figura 20.

Figura 20- Processo genérico para um algoritmo PSO.



Fonte: própria autoria.

2.8. PROMETHEE V

Inicialmente proposto por J.P. Brans em 1982, a técnica multicritério PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations*) é uma técnica de sobreclassificação baseada em comparações pareadas e amplamente aplicada em problemas multicritério de tomada de decisão (AHMAD *et al.*, 2021; PAPATHANASIOU; PLOSKAS, 2018). Algumas características importantes que dão destaque para a técnica são: a simplicidade, clareza e confiabilidade dos resultados (CHOUKOLAEI *et al.*, 2021). Além disso, o método é considerado adequado quando o problema abordado tem um caráter não compensatório (BANIHABIB *et al.*, 2020).

Existem várias versões do método PROMETHEE na literatura que foram propostas para lidar com diferentes tipos de problemas (ALSHARQAWI *et al.*, 2020). As abordagens mais frequentemente aplicadas da família PROMETHEE são o PROMETHEE I, que fornece uma classificação parcial, e o PROMETHEE II, que cria uma classificação total das alternativas consideradas (MELKONYAN *et al.*, 2020). No entanto, em alguns problemas, deseja-se selecionar um conjunto de alternativas considerando restrições adicionais. Por conseguinte, o PROMETHEE V foi proposto como uma extensão dos métodos PROMETHEE para lidar com este tipo de problemas (BRANS; DE SMET, 2016). Assim, o PROMETHEE V é amplamente aplicado em problemas de seleção de portfólio de projetos (MARTINS *et al.*, 2017; POHL *et al.*, 2020).

Inicialmente, para a aplicação do PROMETHEE V, são seguidos os mesmos procedimentos aplicados no PROMETHEE II (BRANS; DE SMET, 2016). Primeiro é necessário coletar as informações sobre o desempenho das alternativas em relação aos critérios de decisão e definir os pesos relativos dos critérios (AHMAD *et al.*, 2021). Seja $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ um conjunto de alternativas e seja $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ um conjunto de critérios. Então, $c_j(a_i)$ representa o desempenho da alternativa a_i no critério c_j . Os resultados das avaliações iniciais são apresentadas pela matriz R de dimensão $[m \times n]$ de acordo com a Equação (16). Os pesos dos critérios podem ser representados pelo vetor W representado pela Equação (17).

$$R = \begin{bmatrix} c_1(a_1) & \cdots & c_n(a_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_1(a_m) & \cdots & c_n(a_m) \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$W = (w_1, w_2, w_j, \dots, w_n) \mid \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (17)$$

Dado um par de alternativas (a, b) e um critério c_j , a diferença no desempenho entre a alternativa a e b em relação ao critério c_j é calculado conforme a Equação 18. O mesmo procedimento é repetido para cada par de alternativas em relação a todos os (PAPATHANASIOU; PLOSKAS, 2018).

$$d_j(a, b) = c_j(a) - c_j(b), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \forall a, b \in A \quad (18)$$

Em seguida, para cada relação de desempenho $d_j(a, b)$ entre duas alternativas, um índice de preferéncia $P_j(a, b)$ é calculado utilizando a função de preferéncia $F_j[d_j(a, b)]$, conforme apresentado pela Equação 19. Diferentes funções de preferéncia podem ser aplicadas de acordo com as particularidades do critério analisado (BRANS; SMET, 2016). Tabela 9 apresenta os tipos de funções de preferéncia aplicadas nos métodos do PROMETHEE.

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \mid 0 \leq P_j(a, b) \leq 1, \quad \forall a, b \in A \quad (19)$$

Posteriormente, os índices de preferéncia agregada π devem ser calculados para cada par de alternativas, conforme representado pela Equação 20.

$$\begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^n P_j(a, b)w_j \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^n P_j(b, a)w_j \end{cases} \quad (20)$$

Onde $\pi(a, b)$ representa o grau de preferéncia da alternativa a sobre a alternativa b considerando todos os critérios. Por poutro lado, $\pi(b, a)$ indica o quanto a alternativa b é preferível a alternativa a . Além disso, as seguintes propriedades são seguidas: $\pi(a, a) = 0$;

$0 \leq \pi(a, b) \leq 1$; $0 \leq \pi(b, a) \leq 1$; $0 \leq \pi(a, b) + \pi(b, a) \leq 1$ (PAPATHANASIOU; PLOSKAS, 2018).

Tabela 9- Tipos de funções de preferência para critérios utilizadas no PROMETHEE.

Critério generalizado	Função de preferência	Parâmetros
Tipo I: Critério habitual	$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d \leq 0 \\ 1 & \text{if } d > 0 \end{cases}$	Nenhum
Tipo II: função em U	$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d \leq q \\ 1 & \text{if } d > q \end{cases}$	q
Tipo III: Função em V / Linear	$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d \leq 0 \\ d/p & \text{if } 0 \leq d \leq p \\ 1 & \text{if } d > p \end{cases}$	p
Tipo IV: Critério de nível	$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d \leq q \\ 1/2 & \text{if } q \leq d \leq p \\ 1 & \text{if } d > p \end{cases}$	p, q
Tipo V: Linear com preferência de indiferença	$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & \text{if } q \leq d \leq p \\ 1 & \text{if } d > p \end{cases}$	p, q
Tipo VI: Critério gaussiano	$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d \leq 0 \\ 1 - e^{-d^2/2s^2} & \text{if } d > 0 \end{cases}$	s

Fonte: Brans e De Smet (2016). q = limiar de indiferença; p = limiar de preferência rigorosa; s = ponto de inflexão, que é um valor intermédio entre q e p.

Em seguida, os graus de preferência entre alternativas são utilizados para calcular o fluxo de sobreclassificação positivo $\phi^+(a)$, e o fluxo de sobreclassificação negativo $\phi^-(a)$ para cada alternativa, tal como apresentado pelas equações 21 e 22 respectivamente. Ressalta-se que cada alternativa a confronta-se com $(n - 1)$ alternativas em A (BRANS; DE SMET, 2016).

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (21)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (22)$$

No PROMETHEE II, o ranking final de todas as alternativas é baseada no resultado do fluxo líquido de sobreclassificação $\phi_{net}(a)$ obtido por meio da Equação 23. Quanto

maior for $\phi_{net}(a)$, melhor é a alternativa, e consequentemente, melhor será sua posição (AHMAD *et al.*, 2021).

$$\phi_{net}(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (23)$$

Depois de calcular o fluxo líquido de sobreclassificação para cada alternativa, PROMETHEE V aplica um modelo de programação linear que possui como objetivo maximizar o valor do fluxo líquido de sobreclassificação, considerando as restrições do problema analisado. O seguinte modelo linear binário apresentado pelas equações 24 até 26 é aplicado (BRANS; DE SMET, 2016).

$$Max Z = \sum_{i=1}^K \phi_{net}(a_i)x_i \quad (24)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^n \lambda_{p,i}x_i \sim \beta_p \quad p = 1, 2, \dots, P \quad (25)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (26)$$

No qual \sim pode ser substituído por $=$, \geq , or \leq , e $\lambda_{p,i}$ são coeficientes das restrições do modelo.

Finalmente, com o objetivo de lidar com o maior grau de imprecisão presente nos julgamentos dos tomadores de decisão, representações *fuzzy* vêm sendo utilizadas com os métodos do PROMETHEE. Por exemplo, Wu *et al.* (2017) propõem a aplicação da representação *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* com o PROMETHEE II; Ghandi e Roozbahani (2020) combinam a teoria *fuzzy* com o PROMETHEE V.

3. APOIO À DECISÃO EM AÇÕES ESTRATÉGICAS DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA DE FORNECIMENTO

O presente capítulo busca apresentar definições sobre o contexto de aplicação que se deseja desenvolver a proposta de modelo de tomada de decisão. Dessa forma, o capítulo está subdividido em duas subseções. A subseção 3.1 apresenta os conceitos relacionados à sustentabilidade na cadeia de fornecimento. Já a subseção 3.2 discorre sobre estratégias de sustentabilidade na cadeia de fornecimento e apresenta um levantamento da literatura, bem como uma análise dos resultados. Por fim, a subseção 3.3 apresenta os estudos que lidam com a seleção de projetos sustentáveis.

3.1. SUSTENTABILIDADE NA CADEIA DE FORNECIMENTO

A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável começaram a ganhar destaque a partir do relatório “*Our Common Future*” desenvolvido em 1987 pela Comissão Mundial das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (BEM-ELI, 2015). Ao longo dos anos, aumentaram os estudos que demonstram preocupações com o desenvolvimento sustentável em diversos contextos organizacionais (AHI; SEARCY, 2015). Estudos indicam que as organizações que levam em conta indicadores de sustentabilidade em suas ações, acabam alcançando vantagens competitivas e melhores desempenhos (BEZERRA; GOHR; MORIOKA, 2020).

Segundo Ahi e Searcy (2013), o termo sustentabilidade já foi interpretado de várias maneiras, sendo inicialmente relacionado somente às questões ambientais. Geralmente, “sustentabilidade é traduzida como a utilização de recursos para atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades” (WCED, 1987, p.43). Porém com o passar do tempo, verificou-se que a sustentabilidade é uma questão complexa e multidimensional, que integra eficiência e equidade inter e intra-relacionada nas bases ambiental, econômica e social (NAJJAR, 2022; AHI; SEARCY, 2015). A consideração simultânea das dimensões econômica, social e ambiental para a sustentabilidade, ficou conhecida como *triple bottom-line* (TBL), proposto inicialmente por Elkington (1997) e considerado como norteadores para o desenvolvimento de diversos trabalhos (WICHER; ZAPLETAL; LENORT, 2019; GIANNAKIS; PAPADOPOULOS, 2016; DARBARI *et al.*, 2015).

Sendo assim, o termo sustentabilidade ganhou outras definições mais abrangentes, tal como a tradução da definição a seguir: “um equilíbrio dinâmico no processo de interação entre uma população e a capacidade de suporte de seu ambiente, de modo que a população se desenvolva para expressar todo o seu potencial sem produzir efeitos adversos irreversíveis na capacidade de suporte do ambiente do qual depende” (BEN-ELI, 2018). Já a sustentabilidade dos negócios é definida como “a capacidade de conduzir negócios com o objetivo de longo prazo de manter o bem-estar da economia, meio ambiente e sociedade” (HASSINI *et al.*, 2012).

As ações sustentáveis normalmente são embasadas nos princípios de sustentabilidade. Os princípios de sustentabilidade, são em geral, direcionadores de alto nível projetados para serem amplamente aplicados de forma genérica à muitas situações organizacionais diferentes. (SHRIVASTAVA; BERGER, 2010). Na literatura é possível encontrar uma variedade de princípios propostos para sustentabilidade (MUÑOZ-TORRES *et al.*, 2018; BEN-ELI, 2018; SHRIVASTAVA; BERGER, 2010; FIKSEL; MCDANIEL; MENDENHALL, 1999), e os principais princípios básicos e comuns de sustentabilidade nos estudos são destacada seguir:

- **Sustentabilidade Ambiental (SA):** capacidade de produzir e consumir de forma a assegurar que os ecossistemas possam manter a sua capacidade de auto reparação e resiliência. Desta forma, o meio ambiente desenvolve normalmente a quantidade de recursos utilizados por um projeto (por exemplo, energia, água) e o impacto ambiental produzido (por exemplo, resíduos, emissões atmosféricas) respeitando os regulamentos ambientais (BANSAL *et al.*, 2017; HUBBARD, 2009).
- **Sustentabilidade Social (SS):** O desempenho social de um projeto está relacionado com os impactos de uma organização e dos seus fornecedores nas comunidades em que trabalham (HUBBARD, 2009). Os aspectos sociais procuram desenvolver e apoiar competências e capacidades para promover a saúde e apoiar de uma forma justa e equitativa (BANSAL *et al.*, 2017; AGRAWAL *et al.*, 2016).
- **Sustentabilidade Econômica (SE):** são os aspectos econômicos e financeiros dos produtos e serviços. Inclui os custos, lucro, *lead time*, flexibilidade, integração da cadeia de abastecimento, entre outros (BANSAL *et al.*, 2017; HUBBARD, 2009).
- **Perspectiva intergeracional (PI):** compreende a perspectiva temporal, que tem em conta os efeitos a longo prazo das decisões atuais e um equilíbrio entre os resultados de curto e longo prazo (MUÑOZ-TORRES *et al.* 2018; WCED, 1987).

- **Foco nos Stakeholders (FS):** a sustentabilidade envolve a identificação das necessidades das gerações atuais e futuras. As organizações devem ter em mente as diferentes necessidades e expectativas de uma variedade de partes interessadas (não apenas os proprietários do capital) que podem influenciar os resultados da organização (MUÑOZ-TORRES *et al.* 2018).
- **Pensamento no ciclo de vida (CV):** a sustentabilidade envolve um vasto conjunto de responsabilidades econômicas, ambientais e sociais dos tomadores de decisão que vão para além das fronteiras legais. Neste sentido, a sustentabilidade envolve a gestão dos impactos das atividades a montante e a jusante e, conseqüentemente, a adoção de uma abordagem baseada na análise do ciclo de vida do produto (MUÑOZ-TORRES *et al.* 2018).

As organizações estão cada vez mais assimilando a sustentabilidade em suas práticas de gestão da cadeia de fornecimento (*SCM – Supply Chain Management*). Embora as motivações das organizações individuais possam variar, os principais objetivos geralmente incluem o interesse em alcançar fluxos sustentáveis de produtos, serviços, informações e fundos para fornecer valor máximo a todos os envolvidos (AHI e SEARCY, 2015). Desta forma, o pensamento sistêmico baseado na sustentabilidade corporativa vem ganhando destaque em pesquisas e aplicações considerando a perspectiva estratégica das organizações (BEZERRA; GOHR; MORIOKA, 2020). Além disso, a aplicação dos princípios de sustentabilidade nas cadeias de suprimentos é uma área de pesquisa em evolução que atualmente sofre de uma escassez de teorias, modelos e estruturas estabelecidas (AHI; SEARCY, 2015).

Segundo Stock e Boyer (2009), a gestão da cadeia de suprimentos pode ser traduzida como: o gerenciamento de uma rede de relacionamentos dentro de uma empresa e entre organizações interdependentes e unidades de negócios que consistem em fornecedores de materiais, compras, instalações de produção, logística, marketing e sistemas relacionados que facilitam o avanço e a reversão de fluxos de materiais, serviços, finanças e informações do produtor original até o cliente final com os benefícios de agregar valor, maximizar a lucratividade por meio da eficiência e alcançar a satisfação do cliente.

Em um estudo de revisão da literatura realizado por Ahi e Searcy (2013), várias definições de gestão da cadeia de suprimentos (SCM), gestão verde da cadeia de suprimentos (GSCM – *Green Supply Chain Management*) e gestão sustentável da cadeia de suprimentos (SSCM – *Sustainable Supply Chain Management*) são apresentadas. Neste

estudo, os autores definiram o SSCM como uma extensão do GSCM. Além disso, Ahi e Searcy (2013) destacam as principais características da gestão sustentável da cadeia de suprimentos, sendo estas: foco econômico, foco ambiental, foco social, foco nas partes interessadas, foco voluntário, foco na resiliência e foco no longo prazo. Formentini e Taticchi, (2016) corroboram o ponto de vista e apresentaram a seguinte definição para SSCM:

Criação de cadeias de suprimentos coordenadas por meio da integração voluntária de considerações econômicas, ambientais e sociais com os principais sistemas de negócios inter-organizacionais projetados para gerenciar de maneira eficiente e eficaz o material, as informações e fluxos de capital associados à aquisição, produção e distribuição de produtos ou serviços, a fim de atender aos requisitos das partes interessadas e melhorar a lucratividade, a competitividade e a resiliência da organização no curto e no longo prazo (FORMENTINI; TATICCHI, p. 1921, 2016).

Porém, a implementação de sustentabilidade em uma cadeia de suprimentos é um processo complexo pelo fato de envolver um grande número de fatores de interação (AHI; SEARCY, 2015).

Nesse contexto, um tópico que vêm ganhando grande destaque na busca pelo desenvolvimento sustentável é o conceito de economia circular (*Circular Economy*). A Economia Circular (EC) é um modelo sistêmico que busca a mitigação de problemas causados pelas atividades econômicas com o objetivo de proporcionar um desenvolvimento sustentável (KRISTOFFERSEN *et al.*, 2021). Considerando uma cadeia de fornecimento, A EC apresenta o conceito de criar sistemas interligados que consigam ser sustentados a longo prazo (XAVIER *et al.*, 2021) com foco na otimização do valor dos materiais e componentes dos produtos (EMF, 2014; KIRCHHERR *et al.*, 2017). O conceito de economia circular destaca a noção de substituir o fim da vida útil nas práticas atuais de produção e consumo, reduzindo, reutilizando e reciclando produtos e materiais nos processos de produção, distribuição e consumo, e isso traz benefícios ambientais, econômicos e sociais significativos em escala global (BERG *et al.*, 2018).

A economia circular é apresentada como um dos caminhos efetivos para se chegar no desenvolvimento sustentável (ROSSI *et al.*, 2020; SANTAGATA *et al.*, 2020). Segundo Geissdoerfer *et al.* (2017) a economia circular pode ser relacionada com a sustentabilidade de três formas:

- A economia circular é uma condição para a sustentabilidade;

- A economia circular é uma opção, entre outras, que contribui para a sustentabilidade;
- A economia circular possui benefícios e custos potenciais para a sustentabilidade.

Nessas relações, é importante notar que a economia circular é entendida como um fator (variável explicativa) da sustentabilidade, enquanto a integração de ambos os conceitos permanece pouco explorada (MUÑOZ-TORRES *et al.*, 2018). A aplicação da economia circular visa alcançar o desenvolvimento sustentável, e apresentarelacões diretas com muitos dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) aprovados pelas Nações Unidas em 2015 (BERG *et al.*, 2018). A EC promove uma visão que dissocia o consumo de recursos não renováveis da criação de valor (EMF, 2014), contribuindo para organizações que lidam com desafios empresariais (por exemplo, concorrência global, consciência ambiental, recursos limitados) (UPADHYAY; LAING, *et al.*, 2021). A CE está enraizada em paradigmas de minimização de resíduos (BARÓN*et al.*, 2020) e uso eficiente de recursos (GHISELLINI*et al.*, 2016) principalmente focados no lado ambiental e econômico do Desenvolvimento Sustentável (DS), propondo a adoção de modelos de negócio e práticas compatíveis com a busca de um desenvolvimento sustentável.

Várias práticas sustentáveis para a melhoria da sustentabilidade na cadeia de fornecimento foram levantadas em Masi *et al.* (2018) e são relacionadas aos direcionadores conforme apresentado no Quadro 7. Estas práticas podem ser aplicadas para identificar as possíveis ações sustentáveis que com potencial para serem avaliadas e selecionadas.

Quadro 6- Direcionadores e possíveis práticas para melhoria da sustentabilidade na cadeia de suprimentos.

Direcionadores	Possíveis práticas adotadas
Utilização eficiente de energia e recursos	Redução de energia Redução de consumo de materiais Redução da emissão de poluentes Redução dos resíduos
Gerenciamento ambiental interno	Incluir fatores ambientais no sistema de avaliação de desempenho interna Programas de auditoria ambiental tal como a certificação ISO 14000 Cooperação entre funções para melhorias ambientais Rotulagem ecológica de produtos Treinamento especial para colaboradores em questões ambientais
Compras verdes	Selecionar fornecedores considerando critérios ambientais Utilização de energia/material renovável no processo de produção Cooperar com outras organizações para estabelecer cadeias eco-industriais
Cooperação do cliente	Adotar um marketing voltado para a servetização Focar em segmentos verdes do mercado Utilizar embalagem verde
Recuperação de investimento	Pegar de volta produtos dos consumidores após o final do ciclo de vida do produto Pegar de volta produtos dos consumidores após o final de sua utilização Remanufaturar produtos Reciclar materiais Recuperar e renovar produtos Reutilizar energia ou água ao decorrer a cadeia de valor Utilização em cascata de materiais e componentes
Eco-design	Projetar produtos para reduzir o consumo de materiais/energia Projetar produtos para reutilização, reciclar e/ou recuperar componentes Projetar processo para minimizar desperdícios

Fonte: Adaptado de Masi *et al.* (2018).

3.2. ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA DE FORNECIMENTO

A busca por vantagem competitiva sustentável tem sido o objetivo central de diversas pesquisas acadêmicas e aplicações empresariais, e para isso, as organizações devem adotar uma estratégia apropriada de gerenciamento da cadeia de suprimentos (DHIB *et al.*, 2015). A área de pesquisa de gerenciamento estratégico destaca que uma organização deve utilizar estratégias para obter um desempenho que proporcione vantagem competitiva (CHANG; CHIANG; PAI, 2012). As tomadas de decisões estratégicas são os meios pelos quais os recursos escassos perenes são racionalmente comprometidos em atender às

expectativas gerenciais de sucesso (HARRISON, 1996). Segundo Harrison (1996), cinco critérios são usados para identificar a tomada de uma decisão estratégica:

- A decisão deve ser direcionada para definir o relacionamento da organização com seu ambiente.
- A decisão deve levar a organização como um todo como a unidade de análise.
- As decisões devem abranger todas as principais funções desempenhadas na organização.
- A decisão deve fornecer orientações restritas para todas as atividades administrativas e operacionais da organização.
- A decisão deve ser extremamente importante para o sucesso a longo prazo de toda a organização.

Um estudo realizado por Nooraie (2012) apresenta os fatores que afetam o processo de tomada de decisão estratégico, sendo estes classificados em quatro grupos detalhados a seguir:

- Características específicas de decisão: envolvem fatores tais como a clareza do problema para os tomadores de decisão; como a decisão pode impactar os diversos setores da organização; se a origem da necessidade de decisão advém de uma ameaça ou uma oportunidade e o risco que a decisão pode ocasionar na organização.
- Características organizacionais internas: envolvem fatores que descrevem a organização tais como a estrutura organizacional e a centralização de poder no processo de tomada de decisão; tamanho organizacional e o seu desempenho.
- Características ambientais externas: englobam fatores externos tais como o dinamismo do mercado; possíveis oportunidades e ameaças.
- Características do time de alta gerencia: englobam as características pessoais dos tomadores de decisão envolvidos no processo, tais como o nível educacional e experiência; diversidade de idade e conhecimento; conflito de interesses; e dificuldade para entrar em consenso.

Todos esses pontos apresentados demonstram várias possíveis origens de incertezas que precisam ser modeladas. Além disso, ressalta-se a necessidade de lidar com múltiplos decisores com opiniões divergentes.

As organizações necessitam de ações estratégicas para responder com êxito à concorrência em suas cadeias de suprimentos, no entanto, poucos estudos propuseram a avaliação de ações estratégicas dentro de uma cadeia de fornecimento (CHANG; CHIANG; PAI, 2012). As empresas e os consumidores percebem que os clientes não compram apenas produtos, mas também compram toda a cadeia de suprimentos que emprega diferentes esforços para a disponibilização de produtos para o cliente final (XU; WANG, 2013). Dessa forma, cada vez mais a busca por sustentabilidade tem se tornado uma fonte de vantagem competitiva e uma questão de sobrevivência corporativa, em vez de uma carga onerosa.

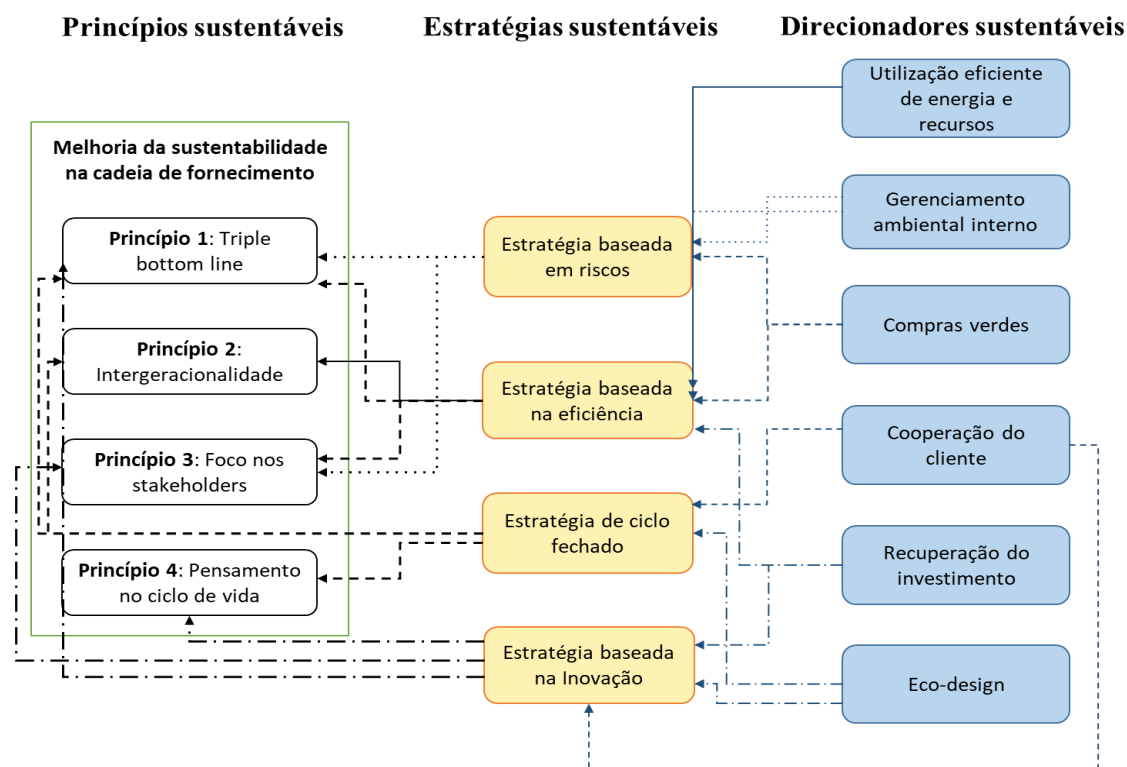
Assim como a classificação de estratégias da cadeia de abastecimento de Fisher entre eficiente e responsividade ao mercado (Fisher, 1997), as estratégias da cadeia de abastecimento sustentável podem ser classificadas em quatro tipos básicos: baseada no risco, baseada na eficiência, baseada na inovação e baseada no ciclo fechada (CHEN et al., 2012; SIMPSON; SAMSON, 2008). Essas estratégias são detalhadas a seguir:

- As estratégias baseadas em risco são as mais simples, procurando minimizar os riscos, o que não exigem um intenso engajamento inter-organizacional. A inclusão de cláusulas básicas em contratos de compra relacionados a questões sustentáveis e a solicitação da certificação ISO 14001 são exemplos de esforços nesta estratégia.
- As estratégias baseadas na eficiência estão alinhadas com a filosofia de produção enxuta e vão mais longe na minimização de riscos. A busca por maior eficiência na utilização de recursos na cadeia de suprimentos não requer novos conhecimentos sobre design de produtos, substituição de materiais ou inovações voltadas para o meio ambiente. Neste tipo de estratégia, a cooperação ao longo da cadeia de fornecimento geralmente prioriza o desempenho econômico, proporcionando benefícios ambientais secundários através da redução de desperdícios e resíduos e melhor utilização dos recursos.
- As estratégias baseadas em inovação diferem das anteriores, desenvolvendo novos conhecimentos sobre produtos e processos preocupados em melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos em questões ambientais e sociais. A parceria com fornecedores para desenvolver novos produtos e processos visando melhorar os indicadores ambientais e sociais, como a substituição de produtos químicos perigosos, é um exemplo dessas estratégias.

- Estratégias de ciclo fechado são aquelas que requerem o mais alto nível de colaboração entre os membros da cadeia de fornecimento, envolvendo minimização de resíduos, re-manufatura e reciclagem de materiais, e outras atividades que reduzem a geração de resíduos fora da cadeia de fornecimento. A aplicação dos conceitos da economia circular são exemplos dessa estratégia.

As estratégias sustentáveis da cadeia de suprimentos podem ser representadas como um elo de ligação entre os princípios de sustentabilidade e os direcionadores sustentáveis com suas ações correspondentes que podem ser implementadas para o desenvolvimento sustentável, conforme ilustrado pela Figura 21. Cada estratégia sustentável pode afetar simultaneamente diferentes princípios. Os direcionadores representam diferentes ações sustentáveis que podem ser implementadas. Da mesma forma, cada direcionador pode fazer parte de mais de uma estratégia sustentável, afetando simultaneamente mais de um princípio de sustentabilidade.

Figura 21- Diagrama de relações para ações estratégicas sustentáveis na cadeia de suprimentos.



Fonte: própria autoria.

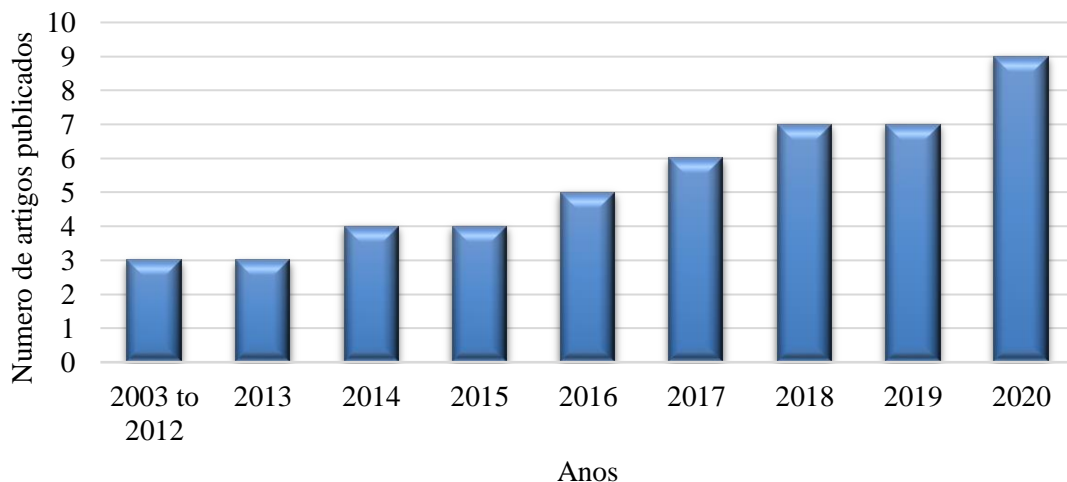
Embora esta classificação da estratégia de cadeia de abastecimento sustentável, utilizada por Chen *et al.* (2012), Simpson e Samson (2008) e Malviya *et al.* (2018), não tenha sido consolidada, assim como o modelo de Fisher, este trabalho apresenta uma breve análise exploratória bibliográfica sobre o uso destes quatro tipos. Dessa forma, um levantamento foi realizado para verificar os estudos que abordam estratégias de sustentabilidade na cadeia de fornecimento, conforme metodologia apresentada na seção 1.3. O conjunto de palavras (“*sustainable strategies**” AND “*supply chain**”) foi aplicado, retornando um total de 30 artigos na base Web of Science e 37 artigos na SCOPUS. Todos os artigos de periódicos, congressos e livros retornados da pesquisa até o final do mês de fevereiro de 2020 foram analisados. Inicialmente as duplicidades foram eliminadas resultando em um total de 39 artigos. Esses artigos foram lidos e classificados de acordo com o ano de publicação, país de origem do primeiro autor, tema de aplicação, critérios utilizados, técnica multicritério aplicada estratégias de sustentabilidade apresentada, método de pesquisa e tipo de informação utilizada.

Embora tenham sido encontrados artigos sobre o tema desde 2003, um grande número de estudos se concentra nos últimos 5 anos do levantamento (entre 2015 e 2020), com 70% de todos os artigos publicados. Além disso, o gráfico da Figura 22 mostra o número crescente de artigos publicados sobre o tema de pesquisa ao longo dos anos. Isto pode ser explicado porque nos últimos 5 anos um número crescente de organizações está se engajando em iniciativas de sustentabilidade para tentar incorporar os objetivos de desenvolvimento sustentável em suas estratégias empresariais. Além disso, isto pode demonstrar uma importância crescente no tópico de pesquisa e pode chamar a atenção para o desenvolvimento de novas abordagens que ainda não foram exploradas. Explorar este campo de pesquisa é extremamente relevante para fomentar as organizações na implementação da sustentabilidade em seus negócios.

Com relação à origem dos estudos, 23 países diferentes apresentam trabalhos no desenvolvimento do tema de pesquisa, porém apenas oito países apresentam dois ou mais estudos encontrados na revisão. O número de estudos publicados relacionados à nacionalidade da universidade do primeiro autor é representado no gráfico da Figura 23. Os países que publicaram o maior número de trabalhos relacionados com o tema são os países emergentes Índia, China e Brasil, respectivamente. Embora estes países se destaquem nessa área de estudo, há uma necessidade urgente de buscar um maior engajamento alcançarmetas de desenvolvimento sustentável. Além disso, a identificação

desses países pode ajudar a detectar possíveis parcerias de pesquisa entre pesquisadores de diferentes nações.

Figura 22 - Número de estudos que abordam estratégias sustentáveis para cadeia de suprimentos publicados ao longo dos anos.



Fonte: própria autoria.

Figura 23 - Número de artigos publicados de acordo com a nacionalidade da universidade do primeiro autor.



Fonte: própria autoria.

Sobre o método de pesquisa adotado pelos trabalhos, a maioria dos estudos busca compreender as relações entre as ações estratégicas sustentáveis e a gestão da cadeia de fornecimento. Desta forma, a maioria dos estudos apresenta características qualitativas

seguindo os métodos de pesquisa listados abaixo. Isto pode estar relacionado à novidade do campo que requer investigações bibliográficas mais profundas para obter informações teóricas sobre qual caminho o campo está seguindo e em que aspectos requer mais esforço no desenvolvimento de pesquisas práticas. Este conjunto de mais pesquisas qualitativas abre espaço para a proposição e condução de pesquisas quantitativas para dar maior precisão aos estudos desenvolvidos na área.

- Estudos de caso que buscam compreender uma ou mais situações específicas, para entender algum fenômeno ainda não esclarecido (NEUTZLING et al., 2018; MALVIYA; KANT; GUPTA, 2018; DA SILVA; GUARNIERI; CARVALHO, 2018; HOW; LAM, 2017; SGARBOSSA; RUSSO, 2017; CAROLINA et al., 2009; XU; WANG; 2008; COX; CHICKSAND; PALMER, 2007; FRESNER; ENGELHARDT, 2004).
- *Surveys* aplicadas em diversos setores e utilizadas principalmente para entender como a sustentabilidade contribui para o desempenho da organização (MARCILIO et al., 2018; MURMURA; BRAVI; PALAZZI, 2017; GIANNAKIS; PAPADOPOULOS, 2016; BHARDWAJ ET AL., 2016; CIARAPICA et al., 2015; BHARDWAJ et al., 2015; KARA; IBBOTSON; KAYIS, 2014; PAZIRANDEH; JAFARI, 2013).
- Levantamentos bibliográficos para entender o estado da arte e proposição de possíveis direcionamentos de estudos para a área (JOKIC; GRACANIN; LALIC, 2019; RODRIGUES; FRANCO, 2019; SONEGO et al., 2018; MEKONNEN; MUSSONE; BRESSLER, 2016).

Apesar da maioria dos estudos aplicarem um método qualitativo, alguns trabalhos encontrados na revisão apresentam propostas de modelos quantitativos para apoiar a tomada de decisões multicritério em relação à aplicação de estratégias sustentáveis nos problemas da cadeia de suprimentos. As técnicas utilizadas por estes estudos foram *Fuzzy Analytic Hierarchy Process - AHP* (DHIB, 2015); modelos de otimização baseados em programação matemática (CARLI et al., 2020, SHARIFI et al., 2020; LEE; NUNEZ; CRUZ, 2018; SARKAR; ULLAH; KIM, 2017; CHEN et al., 2018; HOW; LAM, 2017); *Fuzzy AHP* combinado com *Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS* (BOUTKHOUM et al., 2016; DARBARI et al., 2015); AHP combinada com o método de organização por ordem de preferência para o enriquecimento das avaliações -

PROMETHEE (SREEKUMAR; RAJMOHAN, 2018); *Fuzzy Analytic Network Process - ANP* (WICHER; ZAPLETAL; LENORT, 2019; MALVIYA *et al.*, 2018); *Fuzzy TOPSIS* (YOGESH *et al.*, 2019); AHP combinado com TOPSIS (SREEKUMAR; RAJMOHAN, 2019); e Laboratório de avaliação e ensaio para tomada de decisão - DEMATEL (MANGLA *et al.*, 2020; LI; PINTO; DIABAT, 2020). Os métodos multicritérios AHP e TOPSIS se destacam como as mais frequentemente aplicadas. AHP tem sido aplicada com frequência principalmente para ponderar os critérios sustentáveis considerados nos problemas. Por outro lado, o TOPSIS é amplamente utilizado para classificar as alternativas avaliadas. Entretanto, percebe-se que poucos métodos multicritérios têm sido aplicadas no contexto de cadeias de fornecimento sustentáveis. Assim, outros métodos de decisão que procuram lidar especificamente com a tomada de decisões em grupo e categorização de alternativas ainda podem ser explorados.

Deve-se observar que mais da metade dos estudos com abordagens multicritérios utilizam a teoria da lógica *fuzzy* como representação da informação. O amplo uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* para representar informações de avaliação nos processos de tomada de decisão se deve à sua capacidade de representar informações subjetivas, imprecisas e vagas (PEDROSO *et al.*, 2017). Entretanto, nenhum dos modelos propostos apresentados nos estudos trata de informações hesitantes, que podem ser tratadas através de outras generalizações *fuzzy*, tais como *hesitant fuzzy*, *intuitionistic fuzzy* e *dual fuzzy hesitante* (CALACHE *et al.*, 2021c). O uso de generalizações da teoria dos conjuntos *fuzzy* que lidam com a hesitação é importante para contribuir na solução de problemas complexos que procuram modelar problemas reais de forma mais detalhada, como os problemas de tomada de decisão em grupo (CALACHE *et al.*, 2021c; GALO *et al.*, 2018).

As quatro categorias de estratégias: Baseadas no risco, baseadas na eficiência, baseadas na inovação, e de ciclo fechado, propostas por Chen *et al.* (2012), Malviya *et al.* (2018), e Simpson e Samson (2008) são utilizadas neste estudo como base para a classificação dos trabalhos analisados a partir de nossa revisão bibliográfica, como pode ser visto na Tabela 10. As estratégias sustentáveis da cadeia de fornecimento podem ser aplicadas em diferentes organizações de diferentes setores. Este campo diversificado de aplicação faz com que as estratégias apresentadas se tornem estratégias gerais que diferentes tipos de organizações poderiam usar para melhorar a sustentabilidade de suas cadeias de fornecimento.

Tabela 10 - Classificação dos artigos em relação as estratégias sustentáveis.

Estratégias	Descrição	Area de aplicação	Referencias
Risk-based strategy – RBS (Estratégia baseada no risco)	Minimiza o risco ao conduzir programas e abordagens de conscientização ambiental baseados na identificação, avaliação e priorização do risco.	Indústria têxtil	Giannakis and Papadopoulos (2016)
		Governamental	Touratier et al. (2019)
		Sistema de gerenciamento energético	Mangla et al. (2020)
		Indústria de biomassa	How and Lam (2017) Zakaria et al. (2016)
Efficiency-based strategy- RB (Estratégia baseada na eficiência)	Ela procura ajudar a utilizar efetivamente os recursos disponíveis para melhorar o desempenho. Envolve a aplicação de técnicas para melhorar a gestão das operações	Investimentos	Lee et al. (2018) Wang et al. (2020).
		Indústria têxtil	Li et al. (2020).
		Cadeia de suprimentos do café	Da Silva et al. (2018)
		Empresa de partes automotivas	Wang et al. (2013)
		Indústria metalurgica	Wicher et al. (2019)
		Produção de laptops	Darbari et al. (2015)
		Indústria de alumínio	Fresner, and Engelhardt, (2004)
		Armazens	Carli et al. (2020)
		Transporte	Centobelli et al. (2020)
			Singh and Gupta (2020) Marcilio et al. (2018)
Innovation based strategy- IB (estratégia baseada em Inovação)	Ela força as organizações a investir mais recursos e cultivar habilidades inovadoras para a melhoria da gestão sustentável. Desenvolvimento de tecnologias novas e mais sustentáveis.	Indústria química	Boutkhoum et al. (2016) Neutzling et al. (2018)
		Variados	Sonego et al. (2018)
		Indústria automotiva	Maldonado-Guzmán et al. (2020)
		Indústria de biocombustível	Sharifi et al. (2020)
Closed-loop strategy- CL (estratégia baseada no ciclo fechado)	Ela vincula o desempenho ambiental a toda a cadeia de fornecimento. Tipicamente envolve a análise do ciclo de vida e uma abordagem baseada na economia circular.	Serviços logísticos	Sarkar et al. (2017)
		Industria de células fotovoltaicas	Chen et al. (2017)
		Indústria textil	Hu et al. (2014)
		Cadeia de suprimentos da carne	Sgarbossa and Russo (2017)
		Papel e equipamentos eletrônicos	Carolina et al. (2009)
		Variados	De Los Rios and Charnley (2017)

Fonte: própria autoria.

A categoria de estratégia baseada na eficiência foi a mais utilizada, com 14 documentos e dez áreas de aplicação diferentes. De ciclo fechado foi a segunda, com seis papéis, cada um deles em uma área de aplicação diferente. Em seguida, baseada na inovação foi desenvolvida em cinco referências em quatro áreas diferentes. Finalmente, baseada em risco foi a menos utilizada, com três referências em três áreas de aplicação diferentes.

O grande número de artigos relatando estratégia baseada na eficiência está de acordo com os resultados de outras pesquisas. Masi *et al.* (2018) pesquisaram 77 indústrias de vários países para concluir que as práticas de redução do consumo de materiais e redução de resíduos são as práticas mais adotadas para a economia circular. A estratégia baseada na eficiência está alinhada com o primeiro princípio da hierarquia 3R (reduzir, reutilizar e reciclar), que procura reduzir o desperdício com o uso mais eficiente dos recursos. De acordo com autores como Fercoq *et al.* (2016), objetivos e práticas relacionadas à redução de resíduos são sobrepostos entre estratégias de sustentabilidade e estratégias de produção enxuta. As estratégias de produção enxuta ou filosofia *lean* têm sido estudadas em diferentes indústrias ao redor do mundo desde o surgimento da indústria japonesa nos anos 70 (WOMACK; JONES, 2003).

Apesar da plenitude da filosofia *lean* ou do sistema de produção Toyota exigir a colaboração entre os diferentes membros da cadeia de fornecimento (DYER; NOBEOKA, 2000), os programas de produção *lean* desenvolvidos internamente já podem proporcionar uma redução no desperdício (WOMACK; JONES, 2003). Em outras palavras, seus conceitos consolidados como a produção puxada, TPM (*Total Productive Maintenance*) e PDCA (*Plan, Do, Check e, Act*) podem ser alinhados com estratégias de produção mais limpa ou de desenvolvimento sustentável, reduzindo o desperdício e os resíduos dos processos internos da empresa e depois expandindo para sua cadeia de suprimentos. Por exemplo, Silva *et al.* (2017) propuseram um modelo do ciclo PDCA em conjunto com uma produção mais limpa para reduzir a perda de material em uma empresa de bebidas.

O número de estudos de estratégia baseada em inovação foi mais escasso nesta revisão de literatura. As empresas enfrentaram muitas barreiras que dificultam a adoção deste tipo de estratégia de cadeia de abastecimento. O alto investimento inicial em tecnologia de ponta, a popularidade da tecnologia tradicional, a falta de P&D e capacidade de inovação, e a falta de especialização técnica e treinamento são algumas das barreiras

mais relevantes que dificultam a inovação na cadeia de abastecimento (GUPTA *et al.*, 2020).

Além disso, não houve muitos estudos sobre estratégias de ciclo fechado, embora seja mais adequado para a visão da economia circular. De acordo com Simpson e Samson (2008), uma estratégia de cadeia de abastecimento de ciclo fechado é socialmente mais complexa e requer relações de colaboração mais intensas entre todos os membros.

Em resumo, os resultados da Tabela 10 estão alinhados com os estudos apresentados por outros autores. De acordo com Masi *et al.* (2018), as questões econômicas são mais influentes na gestão da cadeia de abastecimento do que as ambientais e sociais, portanto as estratégias de redução do desperdício e maior eficiência no uso dos recursos são mais frequentes do que aquelas voltadas para a inovação e o ciclo fechado. Este último tem o desafio mais intenso no relacionamento ao longo de toda a cadeia. O desenvolvimento de programas dentro de uma empresa é mais praticável do que aqueles que requerem cooperação entre diferentes membros da cadeia de suprimentos.

Cada categoria de estratégia de cadeia de abastecimento sustentável tem seu foco, e a organização não precisa necessariamente implementar todas as categorias de estratégias para tornar sua cadeia de abastecimento mais sustentável. Assim, as organizações podem selecionar as estratégias sustentáveis que melhor se adaptam ao seu contexto de negócios, implementá-las e, com o tempo, melhorá-las e incluir outras estratégias sustentáveis em sua gestão empresarial. De uma forma geral, é possível verificar que nenhum estudo relacionado ao tema de estratégias sustentáveis na cadeia de fornecimento busca trabalhar com técnicas próprias para a tomada de decisão em grupo. Os estudos vêm utilizando operadores de agregação para considerar as opiniões de múltiplos tomadores de decisão. Não foram encontradas abordagens de consensos para lidar com divergências entre os tomadores de decisão. Além disso, poucas técnicas multicritérios foram utilizadas até o momento e nenhum modelo busca considerar a fase de estruturação do problema utilizando métodos de estruturação em grupo. Desta forma, observa-se algumas oportunidades de estudos para aprimorar o processo de tomada de decisão na escolha de ações estratégicas sustentáveis dentro de uma cadeia de fornecimento sendo estas:

- A utilização de métodos de estruturação em grupos para a elicitação dos problemas de tomada de decisão;

- A utilização de novas representações de informação *fuzzy* que possam representar a opinião de diferentes especialistas e possibilite a hesitação dos julgamentos e dos parâmetros dos números *fuzzy*;
- A aplicação de diferentes técnicas multicritério para tomada de decisão para agregar as vantagens e superar as limitações de cada técnica, podendo assim, gerar soluções com maior robustez;
- O desenvolvimento de um modelo prescritivo que possa auxiliar os tomadores de decisão nos passos para o processo de tomada de decisão considerando diferentes etapas e abordagens para diferentes objetivos específicos, tais como: estruturação do problema, consenso entre os especialistas, modelagem da divergência e tomada de decisão final.

3.3. SELEÇÃO DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS NA CADEIA DE FORNECIMENTO

O objetivo de um problema de seleção de projeto é estabelecer os projetos mais apropriados com base nos critérios de avaliação definidos e alinhados com os objetivos estratégicos da organização (FALLAHPOUR *et al.*, 2020). Recentemente, os critérios utilizados neste tipo de problema procuram abordar o desenvolvimento sustentável como um objetivo estratégico adicional das organizações (MOHAGHEGHI *et al.*, 2020).

A incorporação da sustentabilidade nos problemas de seleção de projetos melhora o desempenho de longo prazo das organizações, permitindo aos investidores aumentar sua competitividade e diminuir o risco de ativos encalhados (KUDRATOVA *et al.*, 2018). Para permitir a medição quantitativa da sustentabilidade nos problemas de seleção de projetos, alguns modelos de tomada de decisão foram propostos na literatura. Kroeger e Slobodan (1997) propuseram um algoritmo para quantificar os riscos sustentáveis considerando as dimensões econômica, social e ambiental. Virjee e Gaskin (2005) desenvolvem um critério de recuperação de custos usando a teoria de conjuntos difusos para avaliar projetos sustentáveis para sistemas de abastecimento de água. Khalili-Damghani e Sadi-Nezhad (2013) apresentam um modelo de decisão baseado na combinação de programação objetiva e *Fuzzy* TOPSIS para lidar com as relações de preferência *fuzzy*. Khalili-Damghani *et al.* (2013) integram um modelo de mineração de dados com o modelo DEA (*Data Envelope Analysis*) para projetar uma estrutura multiobjetivo híbrida baseada em regras *fuzzy*. Frini e Ben-Amor (2015) aplicam a técnica AHP para definir os pesos dos critérios sustentáveis

e depois, a técnica TOPSIS é aplicada para agregar o desempenho dos projetos de acordo com os critérios. Mohagheghi *et al.* (2015) apresentam um modelo de programação matemática com conjuntos intervalados *fuzzy* e considerando os critérios do TBL. Alencar *et al.* (2017) usam o VFT (*Value Focused Thinking*) para criar alternativas sustentáveis em um ambiente de construção e aplicam o PROMETHEE II para classificar as alternativas. Cheng *et al.* (2017) propõem a combinação do DEMATEL (laboratório de tomada de decisão e avaliação) com as técnicas CFPR-ANP (processo de rede analítica baseada em relações de preferência *fuzzy*) e COPRAS-G (método complexo de avaliação proporcional aplicado com relações *fuzzy grey*) para selecionar projetos de pesquisa e desenvolvimento sustentáveis. Kudratova *et al.* (2018) propõem um modelo de otimização matemática que visa maximizar o valor presente líquido esperado considerando o custo de sustentabilidade sob estratégia de reinvestimento. Mohagheghi *et al.* (2019) aplicam o método *fuzzy* MOORA (otimização multiobjetivo com base na análise de proporção) em um ambiente *fuzzy* tipo 2 de intervalo para selecionar projetos de infraestrutura sustentável. Alyamani e Long, (2020) aplicam a técnica *fuzzy* AHP para auxiliar na seleção de projetos sustentáveis, considerando um grupo de tomadores de decisão. Kudratova *et al.* (2020) apresentam um modelo de otimização matemática para a avaliação quantitativa da sustentabilidade no processo de estimação do valor presente líquido na seleção de projetos de investimento. Fallahpour *et al.* (2020) combinam a Programação de Preferências *Fuzzy* (FPP) como uma modificação do *fuzzy* AHP com o *Fuzzy Inference System* (FIS) para desenvolver um modelo de apoio à decisão para a seleção de projetos de construção sustentável.

A Tabela 11 apresenta os estudos relacionados encontrados até o momento e os caracteriza de acordo com o tipo de informação, método de decisão e princípios sustentáveis. A maioria dos estudos encontrados sobre o assunto adotam representações difusas para lidar com a incerteza nos julgamentos dos tomadores de decisão. Entretanto, nenhum estudo utiliza representações adequadas para modelar a hesitação dos julgamentos. Além disso, poucas técnicas de tomada de decisão e abordagens de decisão em grupo foram exploradas no problema da seleção de projetos sustentáveis, que podem ser combinados em diferentes estágios do processo de tomada de decisão.

Tabela 11 - Características dos estudos para o problema de seleção de projetos sustentáveis.

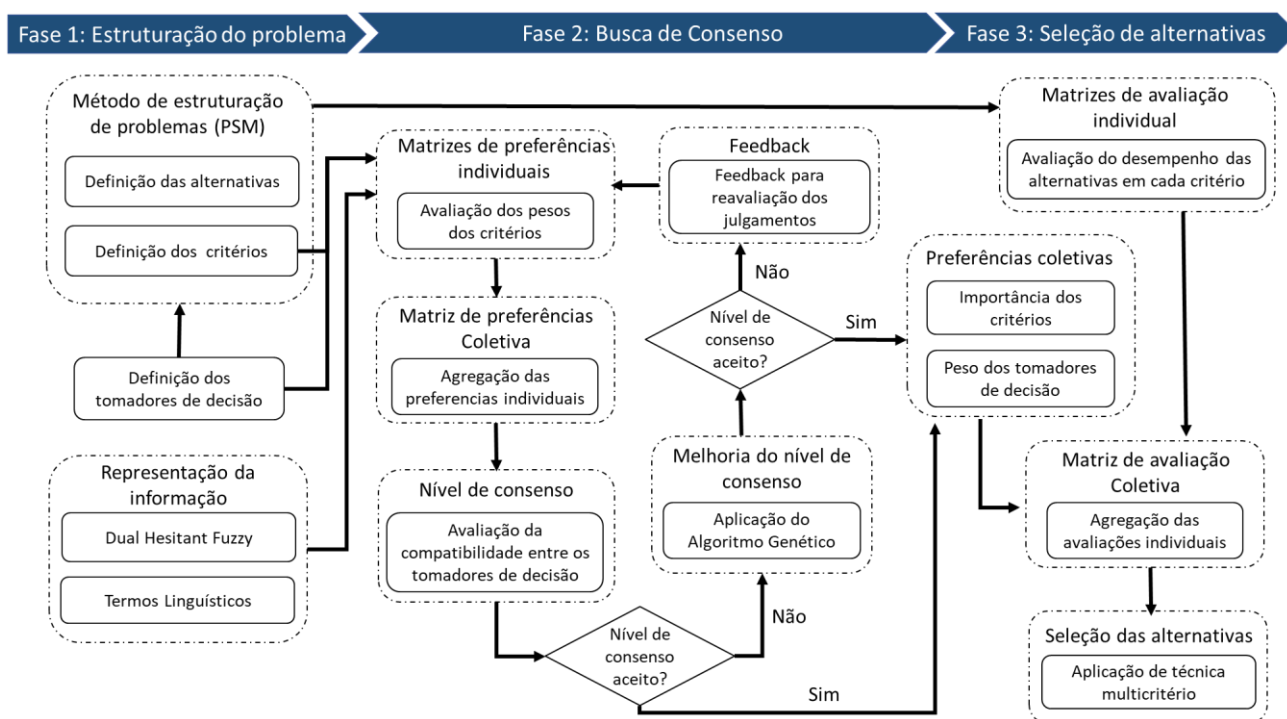
Referencia	Tipo de Informação			Metodo de decisão					Princípios de sustentabilidade						
	Crisp	Fuzzy	Hesitant	MOM	MCDM	EA	GDM	CRP	PSM	P.Eco	P.Amb.	P.S.	P.I.	P.C.V.	F.S.
Alencar <i>et al.</i> (2017)	✓				✓				✓	✓	✓			✓	
Alyamani e Long, (2020)		✓			✓		✓			✓					✓
Cheng <i>et al.</i> (2017)		✓		✓	✓		✓			✓	✓	✓			
Fallahpour <i>et al.</i> (2020)		✓		✓	✓					✓	✓	✓			
Frini e Ben-Amor (2015)	✓				✓					✓	✓				
Khalili-Damghani e Sadi-Nezhad (2013a)		✓			✓		✓			✓	✓	✓			✓
Khalili-Damghani <i>et al.</i> (2013)		✓			✓	✓				✓	✓	✓			✓
Kroeger e Slobodan (1997)	✓				✓					✓	✓	✓			✓
Kudratova <i>et al.</i> (2018)	✓			✓						✓				✓	✓
Kudratova <i>et al.</i> (2020)	✓			✓						✓				✓	✓
Mohagheghi <i>et al.</i> (2015)		✓		✓						✓	✓	✓			
Mohagheghi <i>et al.</i> (2019)		✓		✓	✓		✓			✓	✓	✓			✓
Virjee e Gaskin (2005)		✓		✓						✓					✓
Proposta deste estudo		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: própria autoria. MOP- *Mathematical Optimization Model*; MCDM – *Multi-Criteria Decision Making*; EA – *Evolutionary Algorithm*; GDM – *Group Decision Making*; CRP – *Consensus Reaching Process*; PSM – *Problem Structuring Method*; P.Eco – *Princípio Econômico*; P.Amb. – *Princípio Ambiental*; P.S.- *Princípio Social*; P.I.- *Perspectiva Intergeracional*; P.C.V. – *Pensamento no Ciclo de Vida*; F.S.- *Foco nos Stakeholders*.

4. PROPOSTA DE MODELO DE TOMADA DE DECISÃO

O presente capítulo tem por objetivo apresentar um novo modelo prescritivo de tomada de decisão que busca integrar os conceitos apresentados até o momento. Desta forma, o modelo representado pela Figura 24 propõe três fases no processo de tomada de decisão, sendo estas: (I) estruturação do problema, (II) busca de consenso e (III) seleção de alternativas. Estas fases serão detalhadas nas seções do capítulo.

Figura 24: Modelo de tomada de decisão em grupo proposto.



Fonte: própria autoria.

4.1. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO

A primeira fase proposta do modelo consiste na definição e detalhamento do problema de decisão. Nesta etapa deseja-se definir os parâmetros e demais características que serão analisadas e utilizadas durante todo o processo de tomada de decisão, tais como:

Definição dos tomadores de decisão: deseja-se entender quais são os agentes ou especialistas que farão parte do processo de decisão e irão julgar as alternativas de acordo com os critérios. Estes agentes também são responsáveis por elucidar o problema como um todo, ajudando a entender quais são as possíveis alternativas e como essas alternativas

podem ser avaliadas. É esperado que tomadores de decisão de diferentes áreas, com níveis de experiências diversificados e com conhecimentos variados participem do processo para a agregação de diferentes pontos de vistas que devem ser considerados no problema avaliado.

Representação da informação: envolve a definição do tipo de dado que será coletado e tratado durante o processo de tomada de decisão. Para lidar com imprecisões nas informações, as representações *fuzzy* e suas generalizações são adotadas (MARDANI; JUSOH; ZAVADSKAS, 2015). A escolha de um tipo de representação de informação depende do grau de incerteza que se deseja lidar durante o problema. Uma das mais recentes generalizações *fuzzy* proposta é o *Dual Hesitant Fuzzy Sets* (ZHU; XU; XIA, 2012), que é capaz de lidar ao mesmo tempo com imprecisões das variáveis linguísticas, hesitação na definição dos termos linguísticos que representam a avaliação do tomador de decisão e hesitação na parametrização dos termos linguísticos. Entretanto, outras generalizações baseadas no DHFS vêm sendo propostas tais como *interval-valued dual hesitant fuzzy Choquet integral* (QU; QU; LI, 2017) e *Dual hesitant fuzzy probability* (CHEN; HUANG, 2017). Além disso, deve-se definir quantas e quais são as variáveis linguísticas, bem como a escala compatível com as variáveis que serão utilizadas pelos tomadores de decisão para representar suas opiniões. A Tabela 12 apresenta um exemplo de parametrização das variáveis linguísticas *intuitionistic fuzzy*, que são utilizadas nas representações DHFS e suas generalizações.

Tabela 12 - Variáveis linguísticas e parametrização intuicionista.

Variáveis linguísticas	Grau de pertencimento	Grau de não pertencimento
Totalmente não preferível.	0,05	0,95
Fortemente não preferível	0,15	0,80
Levemente não preferível	0,30	0,60
indiferente	0,50	0,50
Levemente preferível	0,70	0,20
Fortemente preferível	0,85	0,10
Totalmente preferível	0,95	0,05

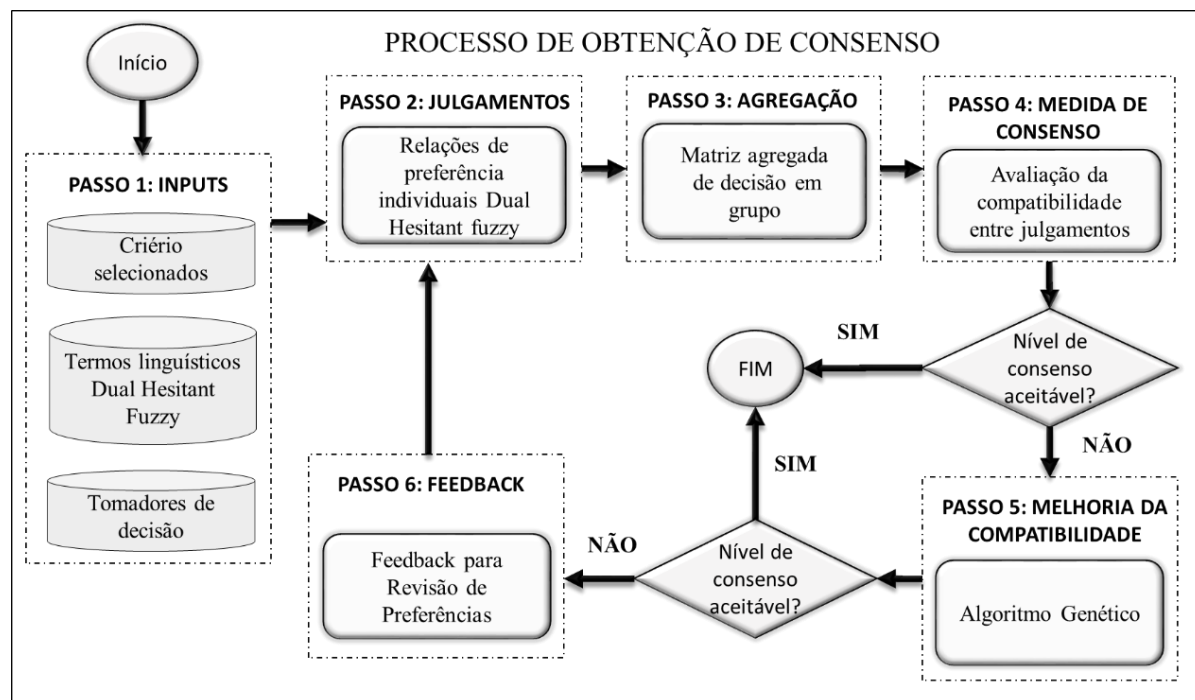
Fonte: própria autoria.

Método de estruturação de problemas: assim como apresentado na Seção 2.1, os métodos PSM são apropriados para situações caracterizadas por múltiplos atores, com perspectivas diferentes, interesses parcialmente conflitantes e incertezas inerentes ao processo de tomada de decisão (ROSENHEAD, 2006). Dessa forma, esses métodos vêm sendo utilizados para a identificação de alternativas ou opções de soluções de um problema e os critérios que são relevantes e devem ser utilizados como meios para a tomada de decisão (MARTTUNEN; LIENERT; BELTON, 2017).

4.2. BUSCA DE CONSENSO ENTRE OS TOMADORES DE DECISÃO

Esta fase contempla uma abordagem iterativa para se obter um nível de consenso requerido para o problema em questão. A abordagem de consenso proposta no modelo tem por objetivo definir os pesos dos critérios e os pesos dos tomadores de decisão. A Figura 25 representa a busca de consenso (Fase 2), um recorte do modelo de tomada de decisão em grupo proposto. Para facilitar o entendimento, o processo de busca de consenso foi dividido em 6 passos detalhados a seguir.

Figura 25 - Processo de obtenção de consenso para definição dos pesos dos critérios e dos tomadores de decisão.



Fonte: Adaptado de Calache *et al.* (2022).

Passo 1 - Inputs: inclui a necessidade inicial de informação para o desenvolvimento da abordagem. Estas informações iniciais foram definidas previamente na Fase 1 do modelode decisão geral apresentado na Figura 24.

Passo 2 - Julgamentos: matrizes de preferências individuais devem ser coletadas conforme representado pela Equação 27. Em cada matriz um tomador de decisão irá representar as preferências entre os critérios definidos na etapa anterior, utilizando variáveis linguísticas conforme apresentado na Tabela 9.

$$R^d = \begin{matrix} & \begin{matrix} \textit{Critério 1} & \textit{Critério 2} & \dots & \textit{Critério N} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \textit{Critério 1} \\ \textit{Critério 2} \\ \vdots \\ \textit{Critério N} \end{matrix} & \begin{pmatrix} r_{11}^d & r_{12}^d & \dots & r_{1N}^d \\ r_{21}^d & r_{22}^d & \dots & r_{2N}^d \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{N1}^d & r_{N2}^d & \dots & r_{NN}^d \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (27)$$

Na qual R^d representa a matriz de comparação pareada entre critérios realizada pelo tomador de decisão $d = 1, 2, \dots, D$. r_{nm}^d representa o julgamento de preferência realizado pelo tomador de decisão d sobre os critérios comparados n e m | $n = 1, 2, \dots, N$ e $m = 1, 2, \dots, N$. Dessa forma, teremos uma matriz quadrada e simétrica de dimensão N para cada um dos tomadores de decisão.

Passo 3 - Agregação: Em seguida, os julgamentos individuais dos tomadores de decisão são agregados de acordo com operadores de agregação, conforme apresentado nas equações de 9 a 11. Dessa forma, obtém-se uma matriz agregada inicial A^0 que representa a opinião coletiva, conforme apresentado pela Equação 28.

$$A^0 = \begin{matrix} & \begin{matrix} \textit{Critério 1} & \textit{Critério 2} & \dots & \textit{Critério N} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \textit{Critério 1} \\ \textit{Critério 2} \\ \vdots \\ \textit{Critério N} \end{matrix} & \begin{pmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1N} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{N1} & \tilde{a}_{N2} & \dots & \tilde{a}_{NN} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (28)$$

Na qual \tilde{a}_{nm} é um número DHF agregado em relação aos critérios n e m | $n = 1, 2, \dots, N$ e $m = 1, 2, \dots, N$. A matriz obtida também é quadrada e simétrica de dimensão N .

Passo 4 – Medida de consenso: Para calcular os níveis de consenso, cada matriz de tomada de decisão individual é comparada com a matriz agregada inicial A^0 , verificando-se a compatibilidade $c(R^d, A^0) \forall d = 1, 2, \dots, D$, com a aplicação da Equação 12. Se a compatibilidade calculada entre todas as matrizes de julgamento dos tomadores de decisão e a matriz agregada for igual ou superior ao nível mínimo de consenso requerido para o problema, então o processo de obtenção de consenso é interrompido. Neste caso, é atribuído o mesmo peso para todos os tomadores de decisão. Já os pesos dos critérios, são definidos pela pontuação relativa da matriz A^0 utilizando-se a Equação 6. Caso contrário, se o nível de consenso de qualquer tomador de decisão for inferior ao nível mínimo de consenso exigido, devem ser realizados ajustes para alcançar o consenso desejado e, conseqüentemente, o processo de obtenção de consenso prossegue para o passo seguinte.

Passo 5 – Melhoria da compatibilidade: O primeiro ajustamento a ser feito está relacionado com o peso dos tomadores de decisão. Este ajuste inicial é proposto para tentar evitar a modificação de avaliações iniciais, e assim, diminuir a necessidade de coletar novas informações, tornando o processo de decisão mais ágil. Este modelo propõe um algoritmo genético tal como representado no Algoritmo 1 apresentado no Quadro 7.

Após a aplicação do algoritmo genético, se o nível mínimo de consenso desejado for alcançado, o processo de obtenção de consenso é interrompido. Então, a melhor solução obtida no algoritmo genético é utilizada como pesos dos tomadores de decisão. Esses pesos são utilizados para agregar os julgamentos como nas equações 9 a 11 para obter os pesos dos critérios. Os pesos dos critérios relativos são calculados com base na pontuação DHFS, como na Equação 6. Caso contrário, se o nível de consenso não tiver sido alcançado, o processo de obtenção de consenso vai para o passo 6.

Quadro 7 - Algoritmo Genético para melhoria da compatibilidade DHFS.

Algoritmo 1. Algoritmo genético genérico para melhoria da compatibilidade.	
1:	Input: O nível de consenso desejado $\alpha \in [0,1]$; matrizes de preferências individuais; tamanho da população P ; número de tomadores de decisão D ; tamanho da solução Elite B ; parâmetro de crossover ε ; e critério de parada.
2:	Criar uma população aleatorizada de tamanho P . Cada cromossomo é composto por um número real representado por $w_d \sim U[0, 1]$ e normalizado tal que $\sum_{d=1}^D w_d = 1$, onde w_d é o peso do tomador de decisão $d = 1, 2, \dots, D$;
3:	Agregar os julgamentos dos tomadores de decisão em uma matriz A por meia da Equação 11;
4:	Avaliar o <i>fitness</i> dos cromossomos gerados por meio da medição de compatibilidade $c(R^d, A) \forall d$.
5:	Atualizar o valor do <i>fitness</i> : se a medida de compatibilidade de um tomadores de decisão d é igual ou maior que α , então $c(R^d, A) = 1$, indicando que o tomador de decisão d está em consenso.
6:	Início do laço: enquanto a somatória $\sum\{c(R^d, A) d = 1, 2, \dots, D\} \neq D$ ou o critério de parada não forem atingidos, realiza-se o seguinte procedimento:
7:	Ordenar os cromossomos em ordem decrescente de acordo com os respectivos valores de <i>fitness</i> .
8:	Classificar os cromossomos em elite (as B melhores soluções) e não elites ($P-B$ soluções).
9:	Aplicar o operador de crossover entre as soluções da elite e não elite. Gerar um número aleatório ρ_d para cada w_d e comparar com um parâmetro ε . Se $\rho_d > \varepsilon$, então o elemento w_d de uma solução não elite é selecionada; caso contrário, o elemento w_d de uma solução elite compõe a próxima geração. Os novos cromossomos são normalizados de tal forma que $\sum_{d=1}^D w_d = 1$.
10:	Aplicar o operador de mutação: L soluções descendentes são escolhidas para ter algum elemento w_d modificado. Gerar um número aleatório $\varphi \varphi = 1, 2, \dots, D$ para cada solução descendente. O elemento w_φ é substituído por um novo número aleatório $\sim U[0, 1]$, e o vetor W é normalizado tal que $\sum_{d=1}^D w_d = 1$.
11:	Criar a nova população: copiar as soluções Elite e adicionar os descendentes e mutantes.
12:	Agregar os julgamentos dos tomadores de decisão em uma matriz A utilizando a Equação 11;
13:	Avaliar o <i>fitness</i> para cada cromossomo da nova população por meio da medição da compatibilidade $c(R^d, A) \forall d$.
14:	Atualizar o valor do <i>fitness</i> : se a medida de compatibilidade de um tomadores de decisão d é igual ou maior que α , então $c(R^d, A) = 1$.
15:	Fim do laço.
16:	Output: Nível de compatibilidade; os pesos dos tomadores de decisão; matriz agregada para o melhor nível de compatibilidade.

Fonte: própria autoria.

Passo 6 – Feedback: Após a aplicação desse algoritmo, avalia-se se o nível mínimo de consenso desejado foi alcançado. Caso o nível de consenso não tenha sido alcançado, pede-se para que o tomador de decisão com o menor nível de compatibilidade em relação à matriz agregada inicial, realize uma reavaliação dos seus julgamentos, modificando sua respectiva matriz R^d . Para se avaliar os julgamentos mais distoantes, a distância euclidiana apresentada pela Equação (7) na Seção 2.4.1 pode ser utilizada. Quanto maior for a distância do julgamento de um tomador de decisão em relação à matriz de decisão agregada, maior é a indicação para o tomador de decisão reavaliar seu julgamento específico. Em seguida, todo o procedimento deve ser repetido até a obtenção do nível de consenso desejado pelo problema.

Como resultado dessa etapa do processo geral de tomada de decisão, teremos os pesos dos critérios que serão utilizados para avaliar o desempenho das alternativas, e o peso dos tomadores de decisão, que irão julgar o desempenho das alternativas em relação aos critérios de acordo com sua percepção individual. Ressalta-se que os resultados obtidos apresentam um nível mínimo de consenso desejado entre os tomadores de decisão, tentando evitar que existam futuros conflitos ou a não aceitação dos resultados obtidos na decisão final do processo.

4.3. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS

A terceira e última fase do processo de decisão contempla a avaliação individual dos tomadores de decisão sobre o desempenho de cada alternativa em cada critério. Ao contrário da fase anterior, nessa fase não se deseja o consenso entre os tomadores de decisão, e sim coletar e considerar as diferentes percepções dos mesmos. Para isso, a Equação 29 é utilizada para coletar esses julgamentos individuais.

$$DM^d = \begin{matrix} & \begin{matrix} \textit{Critério 1} & \textit{Critério 2} & \dots & \textit{Critério N} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \textit{Alternativa 1} \\ \textit{Alternativa 2} \\ \vdots \\ \textit{Alternativa M} \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11}^d & x_{12}^d & \dots & x_{1N}^d \\ x_{21}^d & x_{22}^d & \dots & x_{2N}^d \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{M1}^d & x_{M2}^d & \dots & x_{MN}^d \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (29)$$

Sendo que DM^d representa a matriz de julgamentos de desempenho das alternativas realizados pelo tomador de decisão $d = 1, 2, \dots, D$. x_{mn}^d representa o julgamento realizado pelo tomador de decisão d sobre o desempenho das alternativas $m = 1, 2, \dots, M$ em relação aos critérios $n = 1, 2, \dots, N$. Ressalta-se que o peso dos tomadores de decisão e a importância dos critérios foram resultados da fase anterior e serão utilizados para o cálculo da matriz agregada de desempenho.

A Tabela 13 apresenta um exemplo das variáveis linguísticas que podem ser utilizadas para a avaliação do desempenho das alternativas em cada critério, e os respectivos números *fuzzy*. Ressalta-se que os números *fuzzy* apresentados seguem a estrutura da generalização *intuitionistic fuzzy*, e a generalização DHFS é obtida a partir das avaliações hesitantes.

Tabela 13 - Variáveis linguísticas para avaliação do desempenho das alternativas.

Variáveis Linguísticas	Grau de pertencimento	Grau de não pertencimento
Extremamente baixo	0,05	0,95
Muito Baixo	0,15	0,80
Baixo	0,30	0,60
Médio	0,50	0,50
Alto	0,70	0,20
Muito Alto	0,85	0,10
Extremamente alto	0,95	0,05

Fonte: Própria autoria.

Em seguida, as avaliações individuais sobre o desempenho das alternativas nos critérios devem ser agregadas. Conforme apresentado na Seção 2.4.3, vários operadores de agregação podem ser utilizados para a obtenção da matriz global de avaliação. Entretanto, conforme apresentado por Zhao, Xu e Liu (2016), o operador de agregação SDHFWA pode ser uma boa opção por apresentar resultados mais neutros que consideram da mesma forma todos os elementos presentes na abordagem DHFS. Dessa forma, o operador de agregação pode ser representado conforme a Equação 30.

$$SDHFWA(DM^1, DM^2, \dots, DM^D) = \bigcup_{\tilde{\gamma}_d \in \tilde{h}_d, \tilde{\eta}_d \in \tilde{g}_d} \left\{ \left\{ \frac{\prod_{d=1}^D (\gamma_d)^{\omega_d}}{\prod_{d=1}^D (\gamma_d)^{\omega_d} + \prod_{d=1}^D (1-\gamma_d)^{\omega_d}} \right\}, \left\{ \frac{\prod_{d=1}^D (\eta_d)^{\omega_d}}{\prod_{d=1}^D (\eta_d)^{\omega_d} + \prod_{d=1}^D (1-\eta_d)^{\omega_d}} \right\} \right\} \quad (30)$$

Como resultado dessa operação, obtém-se uma matriz agregada global \tilde{F} sobre o desempenho das alternativas em relação a cada critério, conforme representado pela Equação 31.

$$\tilde{F} = \begin{array}{cccc} & \textit{Critério 1} & \textit{Critério 2} & \dots & \textit{Critério N} \\ \textit{Alternativa 1} & \tilde{f}_{11} & \tilde{f}_{12} & \dots & \tilde{f}_{1N} \\ \textit{Alternativa 2} & \tilde{f}_{21} & \tilde{f}_{22} & \dots & \tilde{f}_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \textit{Alternativa M} & \tilde{f}_{M1} & \tilde{f}_{M2} & \dots & \tilde{f}_{MN} \end{array} \quad (31)$$

A função de pontuação DHF representada pela Equação 32 é aplicada para se obter o número *crisp* que represente o desempenho avaliado para cada alternativa em relação a cada critério, obtendo-se a matriz S representada pela Equação 33.

$$S_{nm} = \frac{1}{\#h} \sum_{\gamma_{f_{nm}} \in h_{f_{nm}}} \gamma_{f_{nm}} - \frac{1}{\#g} \sum_{\eta_{f_{nm}} \in g_{f_{nm}}} \eta_{f_{nm}} \quad (32)$$

$$S = \begin{array}{cccc} & \textit{Critério 1} & \textit{Critério 2} & \dots & \textit{Critério N} \\ \textit{Alternativa 1} & s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1N} \\ \textit{Alternativa 2} & s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \textit{Alternativa M} & s_{M1} & s_{M2} & \dots & s_{MN} \end{array} \quad (33)$$

Após a obtenção das pontuações que representam todo o processo de tomada de decisão, considerando tanto o consenso quanto a agregação dos julgamentos individuais, uma técnica multicritério pode ser utilizada para selecionar as alternativas. Para o caso de seleção de portfólio de projetos sustentáveis, o PROMETHEE V é uma boa alternativa que busca apresentar o conjunto de alternativas que darão maior retorno de acordo com os recursos disponíveis. Os passos para a aplicação do PROMETHEE V foram previamente

detalhados na Seção 2.8. Neste modelo proposto, o PROMETHEE V foi utilizado devido a sua capacidade em lidar com as especificidades de cada critério, e a comparação pareada entre o desempenho das alternativas em cada critério. Além disso, a etapa final da técnica engloba um modelo de seleção de projetos que busca selecionar um conjunto de alternativas que melhor atende às restrições do problema. Dessa forma, o PROMETHEE V é apresentado como o único método de sobreclassificação desenvolvido especificamente para seleção de portfólio, exigindo uma comparação par a par entre as alternativas e possibilitando a consideração de vários portfólios como solução (VETSCHERA; DE ALMEIDA, 2012). Ademais, este método constrói um portfólio ideal a partir do ranqueamento individual das alternativas ao invés de avaliar portfólios inteiros (VETSCHERA; DE ALMEIDA, 2012). A seguir é apresentado um modelo usualmente aplicado em problemas de seleção de portfólio de investimentos (NESTICO; MORANO; SICA, 2018).

Parâmetros:

s_{mn} = retorno obtido pela alternativa m em relação ao critério n ;

t_m = custo de recurso estimado para seleção da alternativa m ;

b = recurso total disponível para a seleção das alternativas.

Variáveis:

Y_m = Variável binária de seleção da alternativa m . $Y_m = 1$ caso a alternativa m seja escolhida e $Y_m = 0$, caso contrário.

Função Objetivo:

$$\text{Maximizar } z = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N s_{mn} \cdot Y_m \quad (34)$$

Sujeito a:

$$\sum_{m=1}^M Y_m \cdot t_m \leq b \quad Y_m \in B. \quad (35)$$

A Equação 34 apresenta a função objetivo que busca maximizar o retorno obtido com a seleção das alternativas em cada critério. A inequação 35 impõe a restrição de que a soma de todos os custos das alternativas selecionadas deve ser menor ou igual ao valor total disponível do recurso. Também na inequação 35 observamos a restrição que define o domínio da variável Y_m .

5. APLICAÇÃO PILOTO

O presente capítulo apresenta uma aplicação piloto para demonstrar a utilização do modelo de decisão proposto no capítulo anterior. A aplicação piloto foi realizada em uma empresa multinacional de grande porte do setor de mineração e siderurgia que opera no Brasil, a qual estamos denominando como empresa Alpha. Para a realização desta aplicação, foi formalizado um vínculo de pesquisa e firmado um termo de confidencialidade de sigilo de dados.

A empresa Alpha produz aço que tem aplicações no setor automotivo, embalagem, construção civil entre outras indústrias. O aço é o material mais reciclável do mundo, sendo um material versátil e permanente com potencial infinito de transformação. Entretanto, a empresa Alpha apresenta um elevado impacto ambiental devido à natureza de suas operações, sendo necessária a adoção de ações de sustentabilidade para apoiar seu desenvolvimento. Sendo assim, a Alpha usa todo o potencial do aço alinhado a sua estratégia corporativa voltada para a sustentabilidade, o que torna essa empresa adequada e alinhada para ser a aplicação piloto utilizada neste estudo.

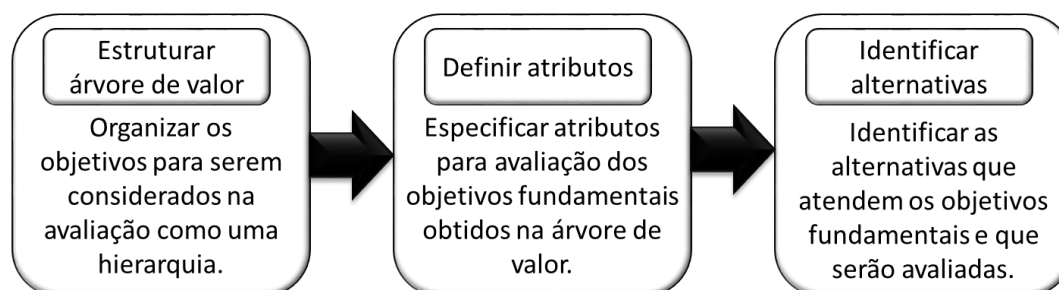
Nesta aplicação, partimos do princípio que o problema abordado já foi definido pela própria organização. A empresa Alpha precisa selecionar e implementar projetos de ações sustentáveis para mitigar os impactos na cadeia de suprimentos. Para isso, inicialmente, a empresa precisa compreender como avaliar as alternativas de projetos de ações sustentáveis disponíveis. Ademais, os participantes envolvidos na aplicação do modelo proposto também foram selecionados a priori pela organização. Em seguida, deseja-se priorizar os projetos que trarão maiores benefícios sustentáveis.

5.1. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA DA APLICAÇÃO PILOTO

Na presente aplicação piloto, o problema a ser tratado e os participantes envolvidos no processo de tomada de decisão foram definidos pela empresa Alpha. Sendo assim, o principal objetivo da utilização de um método de estruturação de problemas na aplicação piloto apresentada é buscar a estruturação do modelo de avaliação. Considerando-se o contexto apresentado, o método de estruturação de problemas VFT (*Value Focused Thinking*) foi selecionado para subsidiar a identificação de objetivos, ações sustentáveis e

a seleção de critérios para a avaliação dessas ações na empresa Alpha. O método de estruturação de problemas VFT foi selecionado devido sua capacidade de identificação e definição de alternativas e critérios de acordo com os objetivos encontrados para o problema (KEENEY; GREGORY, 2005). Os principais passos seguidos na estruturação do modelo são apresentados pela Figura 26 e detalhados a seguir.

Figura 26 - Passos gerais aplicados no VFT.



Fonte: própria autoria.

Inicialmente, a aplicação do VFT foi utilizada com o intuito de identificar os objetivos fundamentais da empresa em relação ao seu direcionamento estratégico para a sustentabilidade. Para isso, entrevistas foram realizadas com os departamentos de gestão da sustentabilidade e gestão de riscos da organização utilizando-se a ferramenta do *Google docs* para coleta das respostas (disponível em: <https://docs.google.com/>). O Quadro 8 apresenta as perguntas que compõem o questionário que busca levantar os objetivos que devem ser levados em conta na seleção de ações ou projetos sustentáveis.

Além da aplicação do questionário, o relatório anual de sustentabilidade da organização também foi utilizado para o levantamento dos objetivos. Os dados coletados foram então analisados por meio de uma análise de conteúdo aplicando uma análise de relação entre as respostas dos tomadores de decisão e o relatório anual de sustentabilidade (DRISKO; MASCHI, 2016). Nessa análise, buscou-se classificar os objetivos de acordo com a co-ocorrência de elementos presentes simultaneamente nas entrevistas e no relatório. Após essa etapa, um diagrama de relações inicial foi elaborado e apresentado para os tomadores de decisão. A partir da avaliação conjunta do diagrama pelos tomadores de decisão, novos elementos foram adicionados ou retirados, buscando a concondância do grupo envolvido na avaliação. Após a validação desses objetivos, o diagrama de relações

foi desenvolvido para se definir os objetivos fundamentais, conforme representado pela Figura 27.

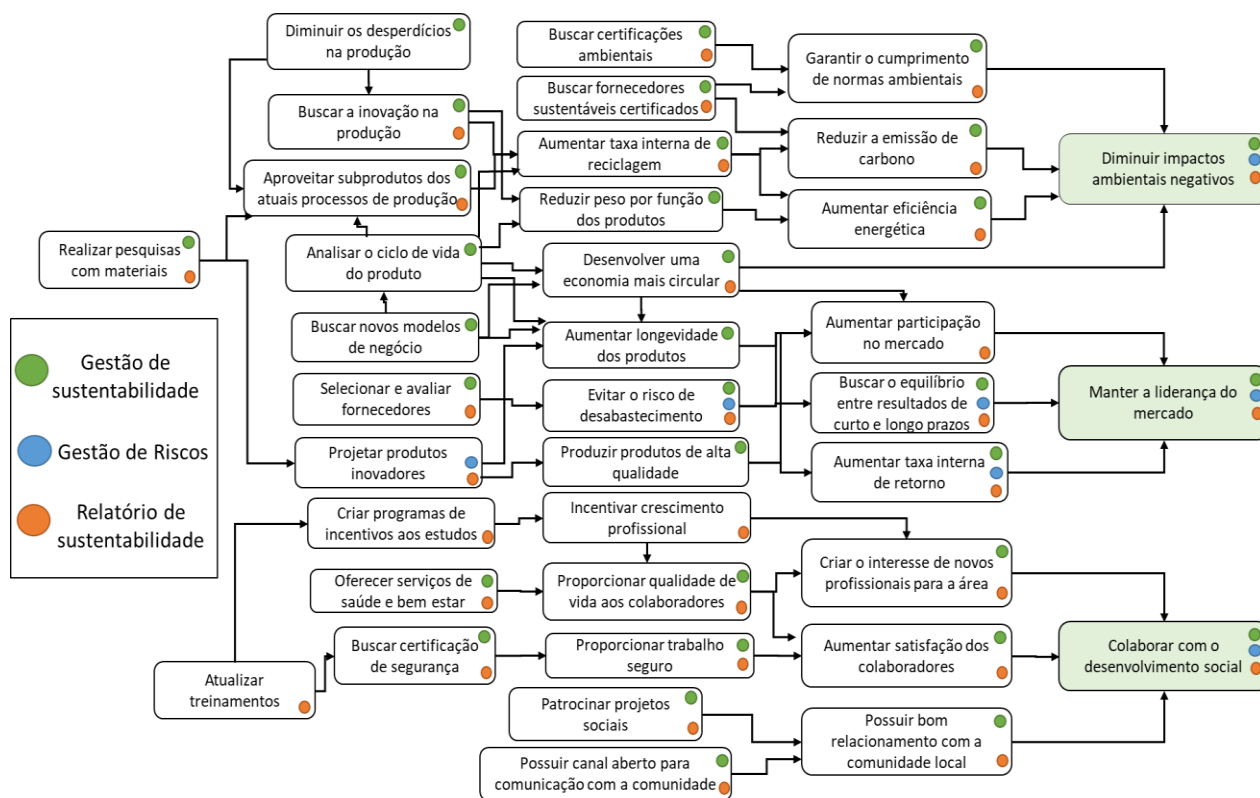
Após definir os objetivos fundamentais, foi possível definir os critérios de decisão para a seleção de projetos relacionados a sustentabilidade, bem como a definição de alternativas de projetos a serem avaliados para implementação. Três objetivos fundamentais foram identificados para a empresa Alpha: I - diminuir impactos ambientais negativos; II - manter a liderança do mercado; III - colaborar com o desenvolvimento social. A Tabela 14 apresenta 10 critérios referentes aos 3 objetivos fundamentais, que serão utilizados para a avaliação das alternativas. A Tabela 15 apresenta as alternativas de projetos que foram definidas a partir dos objetivos fundamentais e os custos estimados para sua implementação. Ressalta-se que as alternativas de projetos apresentados possuem uma denominação mais genérica para resguardar dados da empresa Alpha.

Quadro 8 – Perguntas aplicadas para o levantamento de objetivos no VFT.

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1 – Como os projetos são selecionados e priorizados hoje? Quais são as etapas? Quem normalmente participa do processo de decisão? 2 – Quais são os critérios utilizados para priorizar os projetos? Quem avalia cada critério? Algum critério é mais importante do que o outro? 3 - O que você busca em um projeto sustentável? O que você mais valoriza em uma ação sustentável? 4 - O que seria uma alternativa perfeita de projeto sustentável? O que seria uma alternativa indesejável de projeto sustentável? Dentre as alternativas disponíveis, existe alguma razoável? Se sim, por que você considera essa alternativa razoável? 5 - O que funciona bem e o que não funciona bem no processo de seleção de projetos sustentáveis? O que pode ser melhorado? 6 - O que pode ocorrer de errado com um projeto ou ação sustentável selecionado? Qual seria o impacto da seleção de um projeto que não fosse o mais adequado? 7 - Quais são suas intenções ao selecionar um projeto sustentável? Quais são as limitações mais comuns para colocar em prática os projetos? 8 - O que a seleção de projetos sustentáveis impacta nos seus clientes? Qual diferença que um projeto sustentável pode trazer no futuro da organização? 9 - Quais são os objetivos finais da implementação de um projeto sustentável? Quais são seus valores que são fundamentais para serem atingidos com um projeto sustentável? 10 - Como os objetivos desejados da seleção de projetos sustentáveis podem ser medidos? 11 - Quais são as ações ou projetos sustentáveis que podem ser avaliados para priorização e seleção? |
|---|

Fonte: própria autoria.

Figura 27 – Rede de objetivos meios-fins levantados no questionário e relatório de sustentabilidade.



Fonte: própria autoria.

Tabela 14 - Objetivos fundamentais, critérios e alternativas do problema.

Objetivos	Crítérios
Diminuir impactos ambientais negativos	C1. Potencial de redução da poluição (água, ar, solo)
	C2. Potencial de redução do uso de matérias prima
	C3. Potencial de renovação e reciclabilidade
Manter a liderança do mercado	C4. Potencial de elevação da satisfação dos clientes
	C5. Potencial de redução dos custos
	C6. Potencial de elevação das receitas
	C7. Potencial de aumentar participação no mercado
Colaborar com o desenvolvimento social	C8. Potencial de contribuir com o crescimento local
	C9. Potencial de elevação da segurança dos colaboradores e da comunidade
	C10. Potencial geração de empregos e desenvolvimento pessoal

Fonte: Própria autoria.

Tabela 15 - Alternativas identificadas no VFT e sua classificação segundo o tipo de estratégia abordada.

Tipo de estratégia abordada	Projetos de sustentabilidade possíveis identificados	Investimento Estimado
Estratégia baseada no ciclo fechado	P1: Propor alternativas de uso para os “by-products” resultados dos processos produtivos.	R\$ 700.000
Estratégia baseada em Inovação	P2: Utilizar ou desenvolver novas fontes de energia com tendência de redução de emissões de CO2.	R\$ 2.000.000
	P3: Integrar tecnologias como IoT e IA para otimizar o valor de produtos, materiais e componentes.	R\$ 600.000
Estratégia baseada na eficiência	P4: Programas de educação e treinamento em conceitos de desenvolvimento sustentável	R\$ 180.000
	P5: Reestruturar o processo de tomada de decisão tecnológico e gerencial.	R\$ 50.000
	P6: Adaptar cultura organizacional para incorporar princípios / estratégias de sustentabilidade.	R\$ 150.000
Estratégia baseada no risco	P7: Proteção de investimentos sociais e recursos ambientais.	R\$ 600.000
	P8: Investimento em campanhas comportamentais, para mudar os valores e atitudes dos cidadãos.	R\$ 300.000
	P9: Criação de cursos educacionais de conscientização sobre as questões ambientais em escolas, empresas e comunidades.	R\$ 230.000

Fonte: própria autoria.

Os resultados obtidos nessa fase foram utilizados como dados de entrada para a próxima etapa do modelo de decisão proposto, conforme apresentado na próxima subseção.

5.2. BUSCA DE CONSENSO PARA APLICAÇÃO PILOTO

Após a obtenção das entradas na fase anterior, a busca de consenso entre os tomadores de decisão prossegue para a coleta dos julgamentos individuais sobre a relação de preferência entre os critérios. No total, seis tomadores de decisão (TD) de diferentes níveis da gestão de sustentabilidade, gestão de riscos e gestão estratégica da organização Alpha participaram do processo de coleta de dados, conforme apresentado pelas tabelas 16

até 21. As variáveis linguísticas da Tabela 12 foram utilizadas pelos tomadores de decisão para expressarem seus julgamentos com liberdade, podendo demonstrar a hesitação por meio de frases completas, conforme apresentado na Seção 2.4.2. As avaliações de cada tomador de decisão buscam relacionar os critérios que estão nas linhas com os critérios presentes nas colunas. Por exemplo, ao observar a Tabela 16, de acordo com o TD_1 , verificamos que o critério C_1 é “totalmente não preferível” em relação ao critério C_2 . Os julgamentos linguísticos são traduzidos para números *Dual Hesitant Fuzzy* e exibidos pelas matrizes representadas pelas equações 36 a 41.

Os julgamentos dos tomadores de decisão são agregados usando o SDHFWA conforme apresentado pela Equação 11, e o resultado agregado dos julgamentos é apresentado na Matriz A^0 representado pela Equação 42. Para essa agregação inicial, os pesos dos tomadores de decisão são considerados uniformes.

Tabela 16 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 1 (TD1) para ponderação de critérios.

TD1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1		Totalmente Não preferível	Muito Não preferível	No máximo muito Não preferível	Muito Não preferível	Indiferente	No máximo muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível
C2	Totalmente preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	No máximo muito Não preferível	Pouco Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C3	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Pouco Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível	Totalmente Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível	Muito Não preferível
C4	No mínimo muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível		Muito Não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível
C5	Muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C6	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível		Muito Não preferível	Entre Indiferente e pouco preferível	Pouco Não preferível	Indiferente
C7	No mínimo muito preferível	No mínimo muito preferível	Totalmente preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Muito preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C8	Muito preferível	Pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível	Entre Indiferente e pouco não preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Muito Não preferível	Pouco Não preferível
C9	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco Não preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível		Entre Indiferente e pouco não preferível
C10	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Entre Indiferente e pouco preferível	

Fonte: própria autoria.

Tabela 17 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 2 (TD2) para ponderação de critérios.

TD2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1		Totalmente Não preferível	No máximo muito Não preferível	Indiferente	Entre pouco Não preferível e Muito Não preferível	Indiferente	Totalmente Não preferível	Entre Indiferente e pouco Não preferível	Entre pouco Não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível
C2	Totalmente preferível		No máximo muito Não preferível	Pouco Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Totalmente Não preferível	Entre indiferente e pouco Não preferível	Pouco Não preferível	Pouco Não preferível
C3	No mínimo muito preferível	No mínimo muito preferível		Entre indiferente e pouco Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Totalmente Não preferível	Muito Não preferível	Entre indiferente e pouco Não preferível	Muito Não preferível
C4	Indiferente	Pouco preferível	Entre indiferente e pouco preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível	No máximo muito Não preferível	Totalmente Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível
C5	Entre pouco preferível e Muito preferível	Muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Totalmente Não preferível	Entre indiferente e pouco Não preferível	Pouco Não preferível	Entre pouco preferível e pouco não preferível	Entre indiferente e pouco Não preferível
C6	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Totalmente preferível		Pouco Não preferível	No máximo muito Não preferível	Indiferente	No máximo muito Não preferível
C7	Totalmente preferível	Totalmente preferível	Totalmente preferível	No mínimo muito preferível	Entre indiferente e pouco preferível	Pouco preferível		Muito Não preferível	Pouco Não preferível	Muito Não preferível
C8	Entre Indiferente e pouco preferível	Entre indiferente e pouco preferível	Muito preferível	Totalmente preferível	Pouco preferível	No mínimo muito preferível	Muito preferível		No máximo muito Não preferível	No máximo muito Não preferível
C9	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Entre indiferente e pouco preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e pouco não preferível	Indiferente	Pouco preferível	No máximo muito preferível		Totalmente Não preferível
C10	Pouco preferível	Pouco preferível	Muito preferível	Pouco preferível	Entre indiferente e pouco preferível	No mínimo muito preferível	Muito preferível	No máximo muito preferível	Totalmente Preferível	

Fonte: própria autoria.

Tabela 18 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 3 (TD3) para ponderação de critérios.

TD3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1		Totalmente Não preferível	Muito Não preferível	No máximo muito Não preferível	Muito Não preferível	Indiferente	No máximo muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível
C2	Totalmente preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	No máximo muito Não preferível	Pouco Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C3	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Pouco Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível	Totalmente Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível	Muito Não preferível
C4	No mínimo muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível		Muito Não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível
C5	Muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C6	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível		Muito Não preferível	Entre Indiferente e pouco preferível	Pouco Não preferível	Indiferente
C7	No mínimo muito preferível	No mínimo muito preferível	Totalmente preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Muito preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C8	Muito preferível	Pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível	Entre Indiferente e pouco não preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Muito Não preferível	Pouco Não preferível
C9	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco Não preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível		Entre Indiferente e pouco não preferível
C10	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Entre Indiferente e pouco preferível	

Fonte: própria autoria.

Tabela 19 - Expressões linguísticas de preferências individuais do tomador de decisão 4 (TD4) para ponderação de critérios.

TD 4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre indiferente e pouco não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível
C2	Entre pouco preferível e muito preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre muito Não preferível e totalmente não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C3	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Pouco Não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre muito Não preferível e totalmente não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco Não preferível e muito não preferível
C4	Pouco preferível	Pouco preferível	Pouco preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre muito Não preferível e totalmente não preferível	Pouco Não preferível
C5	Entre pouco preferível e muito preferível	Indiferente	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível		Pouco Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível
C6	Entre indiferente e pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C7	Muito preferível	Muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível
C8	Muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Muito Não preferível	Pouco Não preferível
C9	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível		Entre indiferente e pouco Não preferível
C10	Pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Pouco preferível	Entre indiferente e pouco preferível	

Fonte: própria autoria.

Tabela 20 - Expressões linguísticas de preferências individuais do tomador de decisão 5 (TD5) para ponderação de critérios.

TD5	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1		Pouco Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível
C2	Pouco preferível		Muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C3	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Não preferível
C4	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Muito Não preferível	Indiferente	No máximo muito não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Pouco Não preferível
C5	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Muito preferível		Muito Não preferível	Muito Não preferível	Pouco Não preferível	Pouco Não preferível	Pouco Não preferível
C6	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Indiferente	Muito preferível		Entre pouco não preferível e muito não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito não preferível	Indiferente
C7	Muito preferível	Muito preferível	Muito Não preferível	No mínimo muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito não preferível	Muito Não preferível
C8	Muito preferível	Pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito preferível	Pouco preferível	Indiferente	Muito preferível		Entre pouco não preferível e muito não preferível	Pouco Não preferível
C9	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Pouco Não preferível
C10	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito Não preferível	Pouco preferível	Pouco preferível	Indiferente	Muito preferível	Pouco Preferível	Pouco Preferível	

Fonte: própria autoria.

Tabela 21 - Expressões linguísticas de preferências individuais do tomador de decisão 6 (TD6) para ponderação de critérios.

TD 6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1		Muito Não preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre indiferente e pouco preferível	Pouco Não preferível	Totalmente Não preferível	Muito Preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C2	Muito Preferível		Indiferente	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Totalmente Não preferível	Totalmente Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Indiferente	Totalmente Não preferível
C3	Entre pouco não preferível e muito não preferível	Indiferente		Pouco Não preferível	Pouco Preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C4	Muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Pouco preferível		Totalmente Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Muito Não preferível	Indiferente	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Pouco Preferível
C5	Entre pouco preferível e muito preferível	Totalmente preferível	Pouco preferível	Totalmente preferível		Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Muito Preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito Não preferível
C6	Entre indiferente e pouco preferível	Totalmente preferível	Entre pouco não preferível e muito não preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível		Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Muito Não preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Muito Não preferível
C7	Pouco preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Indiferente	Muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Muito Preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C8	Totalmente preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Indiferente	Muito Não preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível
C9	Muito Não preferível	Indiferente	Indiferente	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre pouco não preferível e muito não preferível	Entre pouco não preferível e muito não preferível	Muito impreferível	Entre pouco preferível e muito preferível		Entre muito não preferível e totalmente Não preferível
C10	Entre pouco preferível e muito preferível	Totalmente preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Pouco Não preferível	Muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	

Fonte: própria autoria.

$$R^1 = \begin{matrix} & \mathbf{C1} & \mathbf{C2} & \mathbf{C3} & \mathbf{C4} & \mathbf{C5} & \mathbf{C6} & \mathbf{C7} & \mathbf{C8} & \mathbf{C9} & \mathbf{C10} \\ \mathbf{C1} & 0,50;0,50 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,70;0,25 & 0,85,0,70;0,25,0,10 & 0,50;0,50 & 0,95;0,05 & 0,95;0,05 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,95,0,85;0,10,0,05 \\ \mathbf{C2} & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,50;0,50 & 0,85;0,10 & 0,70,0,50;0,25,0,50 & 0,85;0,10 & 0,85;0,10 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 \\ \mathbf{C3} & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,15;0,80 & 0,50;0,50 & 0,70,0,50;0,25,0,50 & 0,85;0,10 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,95;0,05 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,70;0,25 & 0,85;0,10 \\ \mathbf{C4} & 0,30;0,65 & 0,50,0,30;0,65,0,50 & 0,5,0,3;0,65,0,50 & 0,50;0,50 & 0,85;0,10 & 0,70,050;050,0,25 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,85,0,70;0,25,0,10 \\ \mathbf{C5} & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,15;0,80 & 0,15;0,80 & 0,15;0,80 & 0,50;0,50 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,70,050;0,50,0,25 & 0,70,0,50;0,50,0,25 & 0,50;0,50 & 0,50;0,50 \\ \mathbf{C6} & 0,50;0,50 & 0,15;0,80 & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,50,0,30;0,65,0,59 & 0,15,0,05;0,80,0,95 & 0,50;0,50 & 0,70;0,25 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,85;0,10 & 0,95,0,85;0,10,0,05 \\ \mathbf{C7} & 0,05;0,95 & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,05;0,95 & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,50,0,30;0,65,0,50 & 0,30;0,65 & 0,50;0,50 & 0,70,0,50;0,50,0,25 & 0,95;0,05 & 0,85,0,70;0,25,0,10 \\ \mathbf{C8} & 0,05;0,95 & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,30;0,65 & 0,50,0,30;0,65,0,50 & 0,30,0,15;0,80,0,65 & 0,50,0,30;0,65,0,50 & 0,50;0,50 & 0,95,0,85;0,10,0,05 & 0,95,0,85;0,10,0,05 \\ \mathbf{C9} & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,30;0,65 & 0,30;0,65 & 0,30;0,65 & 0,50;0,50 & 0,15;0,80 & 0,05;0,95 & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,50;0,50 & 0,95;0,05 \\ \mathbf{C10} & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,30;0,65 & 0,15;0,80 & 0,30,0,15; & 0,50;0,50 & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,30,0,15;0,65,0,80 & 0,15,0,05;0,95,0,80 & 0,05;0,95 & 0,50;0,50 \end{matrix} \quad (36)$$

$$R^2 = \begin{matrix} & \mathbf{C1} & \mathbf{C2} & \mathbf{C3} & \mathbf{C4} & \mathbf{C5} & \mathbf{C6} & \mathbf{C7} & \mathbf{C8} & \mathbf{C9} & \mathbf{C10} \\ \mathbf{C1} & 0,50;0,50 & 0,05;0,95 & 0,05,0,15;0,80,0,95 & 0,5;0,5 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,5;0,5 & 0,05;0,95 & 0,30,0,50;0,50,0,65 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,30;0,65 \\ \mathbf{C2} & 0,95;0,05 & 0,50;0,50 & 0,05,0,15;0,80,0,95 & 0,30;0,65 & 0,15;0,80 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,05;0,95 & 0,30,0,50;0,50,0,65 & 0,15;0,80 & 0,30;0,65 \\ \mathbf{C3} & 0,85,0,95;0,10,0,05 & 0,85,0,95;0,10,0,05 & 0,50;0,50 & 0,30,0,50;0,50,0,65 & 0,15;0,80 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,05;0,95 & 0,15;0,80 & 0,30,0,50;0,50,0,65 & 0,15;0,80 \\ \mathbf{C4} & 0,5;0,5 & 0,70;0,25 & 0,50,0,70;0,25,0,50 & 0,50;0,50 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,30;0,65 & 0,05,0,15;0,80,0,95 & 0,05;0,95 & 0,15;0,80 & 0,30;0,65 \\ \mathbf{C5} & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,50;0,50 & 0,05;0,95 & 0,30,0,50;0,50,0,65 & 0,30;0,65 & 0,30,0,50,0,70;0,65,0,50,0,25 & 0,30,0,50;0,50,0,65 \\ \mathbf{C6} & 0,5;0,5 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,95;0,05 & 0,50;0,50 & 0,30;0,65 & 0,05,0,15;0,80,0,95 & 0,5;0,5 & 0,05,0,15;0,80,0,95 \\ \mathbf{C7} & 0,95;0,05 & 0,95;0,05 & 0,95;0,05 & 0,85,0,95;0,10,0,05 & 0,50,0,70;0,25,0,50 & 0,70;0,25 & 0,50;0,50 & 0,15;0,80 & 0,30;0,65 & 0,15;0,80 \\ \mathbf{C8} & 0,50,0,70;0,25,0,50 & 0,50,0,70;0,25,0,50 & 0,70;0,25 & 0,95;0,05 & 0,70;0,25 & 0,85,0,95;0,10,0,05 & 0,70;0,25 & 0,50;0,50 & 0,05,0,15;0,80,0,95 & 0,05,0,15;0,80,0,95 \\ \mathbf{C9} & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,50,0,70;0,25,0,50 & 0,70;0,25 & 0,30,0,50,0,70;0,65,0,50,0,25 & 0,5;0,5 & 0,70;0,25 & 0,85,0,95;0,05,0,10 & 0,50;0,50 & 0,05;0,95 \\ \mathbf{C10} & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,50,0,70;0,25,0,50 & 0,85,0,95;0,10,0,05 & 0,70;0,25 & 0,85,0,95;0,05,0,10 & 0,95;0,05 & 0,50;0,50 \end{matrix} \quad (37)$$

$$R^3 = \begin{matrix} & \mathbf{C1} & \mathbf{C2} & \mathbf{C3} & \mathbf{C4} & \mathbf{C5} & \mathbf{C6} & \mathbf{C7} & \mathbf{C8} & \mathbf{C9} & \mathbf{C10} \\ \mathbf{C1} & 0,50;0,50 & 0,05;0,95 & 0,15;0,80 & 0,05,0,15;0,80,0,95 & 0,15;0,80 & 0,5;0,5 & 0,05,0,15;0,80,0,95 & 0,15;0,80 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,15;0,80 \\ \mathbf{C2} & 0,95;0,05 & 0,50;0,50 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,15;0,80 & 0,15;0,80 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,05,0,15;0,80,0,95 & 0,30;0,65 & 0,15;0,80 & 0,15,0,30;0,65,0,80 \\ \mathbf{C3} & 0,70;0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,50;0,50 & 0,30;0,65 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,30;0,65 & 0,05;0,95 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,30;0,65 & 0,15;0,80 \\ \mathbf{C4} & 0,85,0,95;0,10,0,05 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,50;0,50 & 0,15;0,80 & 0,5;0,5 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,15;0,80 & 0,15;0,80 & 0,30;0,65 \\ \mathbf{C5} & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,50;0,50 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,15;0,80 & 0,30;0,65 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,15,0,30;0,65,0,80 \\ \mathbf{C6} & 0,5;0,5 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,50;0,50 & 0,15;0,80 & 0,50,0,70;0,25,0,50 & 0,30;0,65 & 0,5;0,5 \\ \mathbf{C7} & 0,85,0,95;0,10,0,05 & 0,85,0,95;0,10,0,05 & 0,95;0,05 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,50;0,50 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,15,0,30;0,65,0,80 & 0,15,0,30;0,65,0,80 \\ \mathbf{C8} & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,30,0,50;0,50,0,65 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,50;0,50 & 0,15;0,80 & 0,30;0,65 \\ \mathbf{C9} & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,30;0,65 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,50;0,50 & 0,30,0,50;0,50,0,65 \\ \mathbf{C10} & 0,70;0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,70;0,25 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,5;0,5 & 0,70,0,85;0,10,0,25 & 0,70;0,25 & 0,50,0,70;0,25,0,50 & 0,50;0,50 \end{matrix} \quad (38)$$

$$A^0 = \begin{matrix} & \mathbf{C1} & \mathbf{C2} & \mathbf{C3} & \mathbf{C4} & \mathbf{C5} & \mathbf{C6} & \mathbf{C7} & \mathbf{C8} & \mathbf{C9} & \mathbf{C10} \\ \mathbf{C1} & 0,50; 0,50 & 0,88; 0,23 & 0,82; 0,27 & 0,76; 0,24 & 0,80; 0,15 & 0,55; 0,42 & 0,89; 0,25 & 0,87; 0,16 & 0,72; 0,23 & 0,81; 0,15 \\ \mathbf{C2} & 0,13; 0,81 & 0,50; 0,50 & 0,80; 0,19 & 0,79; 0,20 & 0,83; 0,20 & 0,84; 0,19 & 0,90; 0,19 & 0,82; 0,24 & 0,75; 0,20 & 0,80; 0,23 \\ \mathbf{C3} & 0,19; 0,73 & 0,20; 0,75 & 0,50; 0,50 & 0,69; 0,27 & 0,72; 0,22 & 0,72; 0,23 & 0,90; 0,26 & 0,83; 0,13 & 0,70; 0,25 & 0,83; 0,12 \\ \mathbf{C4} & 0,24; 0,71 & 0,21; 0,73 & 0,31; 0,64 & 0,50; 0,50 & 0,86; 0,16 & 0,69; 0,33 & 0,88; 0,15 & 0,82; 0,22 & 0,85; 0,18 & 0,65; 0,29 \\ \mathbf{C5} & 0,19; 0,76 & 0,17; 0,77 & 0,28; 0,66 & 0,14; 0,80 & 0,50; 0,50 & 0,87; 0,20 & 0,80; 0,19 & 0,60; 0,34 & 0,61; 0,34 & 0,70; 0,25 \\ \mathbf{C6} & 0,45; 0,53 & 0,16; 0,78 & 0,28; 0,65 & 0,31; 0,65 & 0,13; 0,81 & 0,50; 0,50 & 0,80; 0,19 & 0,78; 0,23 & 0,67; 0,27 & 0,78; 0,24 \\ \mathbf{C7} & 0,11; 0,83 & 0,10; 0,85 & 0,10; 0,84 & 0,11; 0,84 & 0,20; 0,75 & 0,20; 0,74 & 0,50; 0,50 & 0,78; 0,16 & 0,73; 0,22 & 0,80; 0,15 \\ \mathbf{C8} & 0,15; 0,81 & 0,18; 0,76 & 0,17; 0,78 & 0,18; 0,76 & 0,40; 0,54 & 0,25; 0,70 & 0,22; 0,73 & 0,50; 0,50 & 0,86; 0,14 & 0,83; 0,22 \\ \mathbf{C9} & 0,28; 0,65 & 0,25; 0,70 & 0,33; 0,63 & 0,15; 0,79 & 0,30; 0,65 & 0,33; 0,61 & 0,27; 0,65 & 0,14; 0,80 & 0,50; 0,50 & 0,84; 0,26 \\ \mathbf{C10} & 0,19; 0,76 & 0,20; 0,74 & 0,17; 0,78 & 0,35; 0,60 & 0,30; 0,66 & 0,19; 0,74 & 0,20; 0,74 & 0,17; 0,77 & 0,16; 0,77 & 0,50; 0,50 \end{matrix} \quad (42)$$

Em seguida, cada matriz de avaliação individual R^d ($d = 1, 2, \dots, 6$) é comparada com a matriz agregada inicial A^0 utilizando-se a Equação 12 para o cálculo do nível de compatibilidade $c(R^d, A^0) \forall d = 1, 2, \dots, D$. Como resultado, os seguintes níveis de compatibilidade foram encontrados para cada tomador de decisão: $c(R^1, A^0) = 0,9795$; $c(R^2, A^0) = 0,9751$; $c(R^3, A^0) = 0,9807$; $c(R^4, A^0) = 0,9796$; $c(R^5, A^0) = 0,9824$; $c(R^6, A^0) = 0,9102$. O tomador de decisão 6 (TD6) é um analista de estratégia industrial e apresentou o menor valor de compatibilidade, conseqüentemente, o nível de consenso atual é de 0,9102. Supondo-se que o nível de consensus desejado seja $\alpha = 0,9679$, um valor de compatibilidade intermediário entre os níveis de compatibilidade atingidos, então o processo de busca de consenso segue para o próximo passo.

Para aumentar o nível de consenso, o Algoritmo 1 detalha a aplicação do algoritmo genético proposto. Para este caso ilustrativo, seis tomadores de decisão ($D = 6$) avaliam comparativamente dez critérios em pares. O tamanho da população foi inicialmente definido como $P = 20$. 30% das melhores soluções são classificadas como Elite ($B = 6$) e 20% das demais soluções ($L = 4$) são modificadas pelo operador da mutação. O parâmetro de cruzamento $\varepsilon = 0,65$ foi aplicado. Os critérios de parada foram o alcance do nível de consenso desejável ou o máximo de 10.000 iterações. Ressalta-se que toda a parametrização do AG foi definida por meio de testes preliminares.

Como resultado da aplicação do AG, os seguintes níveis de compatibilidade foram encontrados para cada tomador de decisão: $c(R^1, A^0) = 0,9604$; $c(R^2, A^0) = 0,9619$; $c(R^3, A^0) = 0,9613$; $c(R^4, A^0) = 0,9614$; $c(R^5, A^0) = 0,9600$; $c(R^6, A^0) = 0,9554$. Conseqüentemente, o nível de consenso atingido é 95,54%. Para chegar nesses resultados, o algoritmo designou os seguintes pesos para cada tomador de decisão: $w_{d_1} = 0,2331$, $w_{d_2} = 0,1771$, and $w_{d_3} = 0,1066$, $w_{d_4} = 0,0683$, $w_{d_5} = 0,0370$, $w_{d_6} = 0,3778$.

O nível de consenso alcançado com o AG nessa rodada inicial foi de 0,9554, menor do que o nível mínimo desejado de 0,9679. Dessa forma, para atingir o nível requerido de

compatibilidade entre as avaliações, o tomador de decisão 6 (o qual possui o menor nível de compatibilidade) é convidado a reconsiderar suas avaliações mais divergentes. Utilizando-se a distância euclidiana apresentada pela Equação 7, verificou-se quais eram as avaliações do TD6 que mais estavam distantes dos valores da matriz de decisão agregada. Dessa forma, as avaliações que apresentaram uma distância euclidiana normalizada maior do que 0,28 foram apontadas como sugestões para modificação dos julgamentos. Esse valor foi selecionado por representar uma distância normalizada maior do que dois termos linguísticos de diferença para o caso apresentado.

A Tabela 22 exhibe as novas avaliações de comparação entre os critérios do tomador de decisão 6, com os julgamentos modificados destacados em **negrito**. Após a atualização do algoritmo com as novas avaliações do TD6, o Algoritmo Genético proposto foi rodado novamente buscando um nível de consenso mínimo de 0,9679. Os demais parâmetros utilizados previamente permaneceram inalterados.

Tabela 22 - Expressões linguísticas modificadas pelo tomador de decisão 6 (TD6) para ponderação de critérios.

TD 6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1		Muito Não preferível	Entre pouco Não preferível e Indiferente	Muito Não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre indiferente e pouco preferível	Pouco Não preferível	Totalmente Não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C2	Muito Preferível		Pouco Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Totalmente Não preferível	Totalmente Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Indiferente	Totalmente Não preferível
C3	Entre pouco preferível e indiferente	Pouco preferível		Pouco Não preferível	Pouco Não preferível	Entre indiferente e pouco não preferível	Entre indiferente e pouco não preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C4	Muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Pouco preferível		Totalmente Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Muito Não preferível	Indiferente	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Entre indiferente e pouco Preferível
C5	Entre pouco preferível e muito preferível	Totalmente preferível	Pouco preferível	Totalmente preferível		Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Entre pouco preferível e indiferente	Pouco preferível	Muito Não preferível
C6	Entre indiferente e pouco preferível	Totalmente preferível	Entre indiferente e pouco preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre muito preferível e totalmente Não preferível		Entre muito não preferível e totalmente Não preferível	Muito Não preferível	Pouco preferível	Muito Não preferível
C7	Pouco preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre indiferente e pouco preferível	Muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível		Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Indiferente	Entre pouco não preferível e muito Não preferível
C8	Totalmente preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Indiferente		Entre pouco não preferível e indiferente	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre pouco não preferível e muito Não preferível	Entre muito não preferível e totalmente Não preferível
C9	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Entre muito preferível e totalmente preferível	Pouco não preferível	Pouco não preferível	Indiferente	Entre pouco preferível e muito preferível		Entre muito não preferível e totalmente Não preferível
C10	Entre pouco preferível e muito preferível	Totalmente preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre indiferente e pouco não preferível	Muito preferível	Muito preferível	Entre pouco preferível e muito preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	Entre muito preferível e totalmente preferível	

Fonte: Própria autoria.

Após a aplicação do algoritmo, um novo nível de consenso foi alcançado, sendo este de 0,9687, de acordo com os resultados apresentados pela Tabela 23. Como o novo nível de consenso está acima do valor mínimo requerido de 0,9679, então os pesos dos tomadores de decisão podem ser utilizados para a obtenção da matriz agregada final A^f representada pela Equação 27 e aplicando-se o operador de agregação da Equação 11.

Tabela 23 - Resultados obtidos na segunda rodada do AG.

	TD1	TD2	TD3	TD4	TD5	TD6
Peso dos tomadores de decisão	0,0684	0,1393	0,1567	0,1705	0,1095	0,3555
Compatibilidade individual	0,9695	0,9687	0,9747	0,9742	0,9756	0,9701

Fonte: Própria autoria.

$$A^f = \begin{matrix} & \begin{matrix} C1 & C2 & C3 & C4 & C5 & C6 & C7 & C8 & C9 & C10 \end{matrix} \\ \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \\ C8 \\ C9 \\ C10 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0,50; 0,50 & 0,88; 0,21 & 0,82; 0,38 & 0,78; 0,20 & 0,79; 0,15 & 0,52; 0,45 & 0,85; 0,23 & 0,88; 0,22 & 0,71; 0,25 & 0,79; 0,16 \\ 0,13; 0,81 & 0,50; 0,50 & 0,74; 0,19 & 0,83; 0,21 & 0,86; 0,27 & 0,87; 0,25 & 0,90; 0,12 & 0,84; 0,25 & 0,71; 0,24 & 0,85; 0,28 \\ 0,19; 0,70 & 0,20; 0,74 & 0,50; 0,50 & 0,69; 0,26 & 0,74; 0,21 & 0,72; 0,23 & 0,85; 0,31 & 0,82; 0,13 & 0,66; 0,29 & 0,81; 0,13 \\ 0,21; 0,74 & 0,17; 0,77 & 0,31; 0,64 & 0,50; 0,50 & 0,88; 0,22 & 0,76; 0,30 & 0,86; 0,14 & 0,77; 0,26 & 0,87; 0,19 & 0,60; 0,34 \\ 0,20; 0,75 & 0,14; 0,80 & 0,26; 0,55 & 0,12; 0,82 & 0,50; 0,50 & 0,87; 0,23 & 0,84; 0,19 & 0,61; 0,27 & 0,57; 0,36 & 0,75; 0,19 \\ 0,48; 0,49 & 0,13; 0,81 & 0,27; 0,67 & 0,23; 0,71 & 0,13; 0,81 & 0,50; 0,50 & 0,83; 0,20 & 0,79; 0,19 & 0,59; 0,34 & 0,79; 0,20 \\ 0,14; 0,79 & 0,10; 0,85 & 0,14; 0,79 & 0,12; 0,82 & 0,16; 0,78 & 0,16; 0,77 & 0,50; 0,50 & 0,79; 0,15 & 0,71; 0,25 & 0,79; 0,16 \\ 0,11; 0,83 & 0,16; 0,78 & 0,18; 0,76 & 0,23; 0,72 & 0,39; 0,56 & 0,22; 0,72 & 0,21; 0,74 & 0,50; 0,50 & 0,83; 0,15 & 0,84; 0,24 \\ 0,28; 0,67 & 0,29; 0,67 & 0,37; 0,59 & 0,13; 0,81 & 0,42; 0,51 & 0,40; 0,53 & 0,29; 0,66 & 0,16; 0,78 & 0,50; 0,50 & 0,84; 0,29 \\ 0,20; 0,74 & 0,14; 0,79 & 0,29; 0,76 & 0,40; 0,56 & 0,25; 0,70 & 0,18; 0,76 & 0,21; 0,74 & 0,16; 0,78 & 0,16; 0,78 & 0,50; 0,50 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (43)$$

Após a obtenção da matriz agregada final A^f , é realizado o cálculo da pontuação de cada critério. O desempenho da relação de preferência entre os critérios é obtido utilizando-se a Equação 6, e os resultados são apresentados pela Equação 44. Em seguida, essa matriz de pontuação é normalizada e utilizada para calcular os pesos dos critérios relativos, conforme aplicação da Equação 45. Como resultado desta etapa, obtemos os pesos dos critérios normalizados conforme detalhado pela Tabela 24.

$$S(A^f) = \begin{matrix} & \mathbf{C1} & \mathbf{C2} & \mathbf{C3} & \mathbf{C4} & \mathbf{C5} & \mathbf{C6} & \mathbf{C7} & \mathbf{C8} & \mathbf{C9} & \mathbf{C10} \\ \mathbf{C1} & 0,0000 & -0,6672 & -0,4381 & -0,5898 & -0,6413 & -0,0563 & -0,6166 & -0,6621 & -0,4599 & -0,6304 \\ \mathbf{C2} & 0,6759 & 0,0000 & -0,5530 & -0,6151 & -0,5877 & -0,6192 & -0,6850 & -0,5804 & -0,4630 & -0,5757 \\ \mathbf{C3} & 0,5033 & 0,5338 & 0,0000 & -0,4306 & -0,5343 & -0,4938 & -0,5504 & -0,6787 & -0,3712 & -0,6851 \\ \mathbf{C4} & 0,5267 & 0,5986 & 0,3361 & 0,0000 & -0,6591 & -0,4622 & -0,7249 & -0,5109 & -0,6786 & -0,2575 \\ \mathbf{C5} & 0,5470 & 0,6620 & 0,2926 & 0,7086 & 0,0000 & -0,6378 & -0,6449 & -0,3288 & -0,2065 & -0,5580 \\ \mathbf{C6} & 0,0075 & 0,6801 & 0,4048 & 0,4788 & 0,6854 & 0,0000 & -0,6334 & -0,5931 & -0,2541 & -0,5840 \\ \mathbf{C7} & 0,6466 & 0,7519 & 0,6545 & 0,7106 & 0,6261 & 0,6135 & 0,0000 & -0,6353 & -0,4514 & -0,6308 \\ \mathbf{C8} & 0,7164 & 0,6194 & 0,5789 & 0,4949 & 0,1690 & 0,5013 & 0,5307 & 0,0000 & -0,6917 & -0,5971 \\ \mathbf{C9} & 0,3786 & 0,3741 & 0,2287 & 0,6893 & 0,0837 & 0,1324 & 0,3691 & 0,6211 & 0,0000 & -0,5419 \\ \mathbf{C10} & 0,5297 & 0,6492 & 0,4726 & 0,1609 & 0,4565 & 0,5748 & 0,5250 & 0,6226 & 0,6179 & 0,0000 \end{matrix} \quad (44)$$

$$C_{wi} = \frac{\sum_{j=1}^n (0.5 + 0.5 * S(a_{ij}^f))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (0.5 + 0.5 * S(a_{ij}^f))} \quad (45)$$

Tabela 24 - Pesos obtidos para os critérios de tomada de decisão.

Critério	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Peso	0,0533	0,0610	0,0742	0,0831	0,1001	0,1037	0,1250	0,1254	0,1255	0,1487

Fonte: Própria autoria.

Na presente aplicação ilustrativa, o consenso entre os julgamentos dos tomadores de decisão foi obtido na segunda rodada de aplicação do algoritmo genético, após as modificações das avaliações do tomador de decisão 6. Dessa forma, os pesos dos tomadores de decisão e os pesos dos critérios obtidos pelo algoritmo serão utilizados na etapa seguinte do modelo de tomada de decisão proposto neste estudo. Caso o nível de consenso desejado não tivesse sido alcançado, o processo de reavaliação de julgamentos e aplicação do algoritmo genético continua seu processo iterativamente até a obtenção do consenso adequado, conforme ilustrado anteriormente pela Figura 25 na Seção 4.2.

5.3. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A APLICAÇÃO PILOTO

Para avaliar o desempenho das nove alternativas em relação aos 10 critérios, os tomadores de decisão utilizaram as variáveis linguísticas apresentadas pela Tabela 10 para representar seus julgamentos. As Tabelas 25 a 30 apresentam essas avaliações individuais que descrevem o desempenho de uma alternativa em relação a cada critério de avaliação

utilizado. Por exemplo, na Tabela 25 a alternativa de projeto P1 tem um desempenho de pelo menos muito alto, avaliado pelo tomador de decisão 1 (TD1). Após a coleta dos julgamentos dos desempenhos, as expressões linguísticas utilizadas pelos tomadores de decisão são traduzidas em números DHF, conforme exibido nas Equações 46 a 51.

Considerando os pesos dos tomadores de decisão definidos na etapa de busca de consenso, os julgamentos individuais do desempenho das alternativas em cada critério são agregados por meio da Equação 11. Como resultado, obtém-se a matriz de avaliação em grupo representada pela Equação 52.

As pontuações relacionadas aos números *dual hesitant fuzzy* agregados são calculados conforme apresentado pela Equação 6 e os resultados obtidos são detalhados na Equação 53. Em seguida, aplica-se a Equação 45 para se obter as pontuações normalizadas. A Tabela 31 apresenta o desempenho final encontrado para cada alternativa em cada critério.

Tabela 25 - Expressões linguísticas de preferências individuais do tomador de decisão 1 (TD1) para o desempenho das alternativas.

DM1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Acima de muito alto	Entre médio e pouco alto	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito Alto	Entre pouco baixo e médio	Entre pouco alto e muito alto
P2	Extremamente alto	Entre um pouco alto e muito alto	Acima de muito alto	Entre um pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Acima de muito alto	Acima de muito alto	Pouco alto	Extremamente alto
P3	Entre médio e pouco alto	Muito alto	Entre um pouco alto e muito alto	Extremamente alto	Entre um pouco alto e muito alto	Extremamente alto	Entre um pouco alto e muito alto	Acima de muito alto	Muito alto	Pouco Baixo
P4	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Acima de muito alto	Entre pouco baixo e médio	Pouco alto	Médio	Pouco alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Acima de muito alto
P5	Pouco alto	Pouco alto	Entre médio e pouco alto	Entre médio e pouco alto	Muito alto	Muito alto	Entre médio e pouco alto	Pouco Baixo	Pouco Baixo	Muito alto
P6	Extremamente alto	Acima de muito alto	Acima de muito alto	Muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Acima de muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto
P7	Extremamente alto	Acima de muito alto	Acima de muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Muito alto	Extremamente alto
P8	Acima de muito alto	Acima de muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Acima de muito alto	Extremamente alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto
P9	Muito alto	Extremamente alto	Acima de muito alto	Muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Extremamente alto

Fonte: Própria autoria.

Tabela 26 - Expressões linguísticas de preferências individuais do tomador de decisão 2 (TD2) para o desempenho das alternativas.

DM2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Muito alto	Entre médio e pouco alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pouco alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre médio e pouco alto	Entre médio e pouco alto
P2	Extremamente alto	Pouco alto	Pouco alto	Entre médio e pouco alto	Entre médio e pouco alto	Entre médio e pouco alto	Muito alto	Pouco alto	Entre médio e pouco alto	Entre médio e pouco alto
P3	Muito alto	Muito alto	Muito alto	Entre médio e pouco alto	Muito alto	Muito alto	Entre médio e pouco alto	Muito alto	Muito alto	Entre médio e pouco alto
P4	Médio	Entre pouco baixo e médio	Entre pouco baixo e médio	Médio	Pouco Baixo	Entre pouco baixo e médio	Entre médio e pouco alto	Médio	Entre médio e pouco alto	Entre pouco baixo e médio
P5	Entre pouco baixo e médio	Médio	Entre pouco baixo e médio	Entre médio e pouco alto	Pouco alto	Entre médio e pouco alto	Pouco alto	Entre médio e pouco alto	Muito alto	Entre médio e pouco alto
P6	Muito alto	Entre médio e pouco alto	Muito alto	Pouco alto	Entre médio e pouco alto	Entre médio e pouco alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto
P7	Muito alto	Pouco alto	Entre médio e pouco alto	Entre médio e pouco alto	Pouco Baixo	Entre pouco baixo e médio	Médio	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pouco alto
P8	Entre pouco baixo e médio	Médio	Entre médio e pouco alto	Pouco Baixo	Entre médio e pouco alto	Pouco baixo	Entre médio e pouco alto	Médio	Entre médio e pouco alto	Pouco alto
P9	Médio	Entre pouco baixo e médio	Entre pouco baixo e médio	Pouco Baixo	Pouco Baixo	Entre pouco baixo e médio	Entre pouco baixo e médio	Pouco alto	Pouco alto	Pouco alto

Fonte: Própria autoria.

Tabela 27 - Expressões linguísticas de preferências individuais do tomador de decisão 3 (TD3) para o desempenho das alternativas.

DM3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	Muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Acima de muito alto	Médio	Muito alto
P2	Extremamente alto	Muito alto	Acima de muito alto	Extremamente alto	Acima de muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pouco alto	Médio
P3	Entre muito baixo e pouco baixo	Muito alto	Entre pouco baixo e médio	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Acima de muito alto	Muito alto	Muito alto	No máximo muito baixo	Entre pouco baixo e médio
P4	Muito alto	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Médio	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Acima de muito alto	Acima de muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pouco Baixo
P5	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco baixo e médio	Muito alto	Entre pouco baixo e médio	Muito alto	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Muito alto
P6	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Acima de muito alto	Acima de muito alto	Acima de muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Acima de muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto
P7	Acima de muito alto	Acima de muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Acima de muito alto	Extremamente alto
P8	Extremamente alto	Acima de muito alto	Extremamente alto	Médio	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Acima de muito alto	Muito alto	Pelo menos muito alto	Acima de muito alto
P9	Acima de muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Extremamente alto	Médio	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	No máximo muito baixo	Extremamente alto

Fonte: Própria autoria.

Tabela 28 - Expressões linguísticas de preferências individuais do tomador de decisão 4 (TD4) para o desempenho das alternativas.

DM4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Pelo menos muito alto	Médio	Entre pouco alto e muito alto
P2	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Extremamente alto	Muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Entre médio e pouco alto	Pouco alto
P3	Entre médio e pouco alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Pouco alto	Entre pouco alto e muito alto	Pouco Baixo
P4	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Médio	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Médio	No máximo pouco baixo
P5	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Pouco Baixo	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Pouco alto	Pouco Baixo	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto
P6	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre médio e pouco alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Muito alto	Muito alto
P7	Pelo menos muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Muito alto	Médio	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Pelo menos muito alto
P8	Extremamente alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto
P9	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Médio	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto

Fonte: Própria autoria.

Tabela 29 - Expressões linguísticas de preferências individuais do tomador de decisão 5 (TD5) para o desempenho das alternativas.

DM5	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	Muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Médio	Muito alto
P2	Extremamente alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pouco alto	Entre Pouco Baixo e médio
P3	Entre Pouco Baixo e médio	Entre pouco alto e muito alto	Médio	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	No máximo muito baixo
P4	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre Pouco Baixo e médio	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Extremamente alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pouco Baixo
P5	Muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Entre Pouco Baixo e médio	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Médio	Entre pouco alto e muito alto
P6	Extremamente alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto
P7	Pelo menos muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto
P8	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Extremamente alto	Muito alto	Pelo menos muito alto	Pelo menos muito alto
P9	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Médio	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pouco alto	Muito alto

Fonte: Própria autoria.

Tabela 30 - Expressões linguísticas de preferencias individuais do tomador de decisão 6 (TD6) para o desempenho das alternativas.

DM6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	Entre médio e um pouco alto	Entre médio e um pouco alto	Pouco alto	Médio	Entre pouco alto e muito alto	Pouco alto	Muito alto	Muito alto	Sem impacto	Entre pouco alto e muito alto
P2	Pelo menos muito alto	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Pouco alto	Entre médio e um pouco alto	Pouco Baixo	Entre pouco alto e muito alto	Médio	Pouco alto
P3	Médio	Pelo menos muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Pelo menos muito alto	Extremamente alto	Pelo menos muito alto	Muito alto	Sem impacto	No máximo muito baixo
P4	Extremamente alto	Extremamente alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Entre médio e um pouco alto	Pouco Baixo	Médio	Pouco alto	No máximo muito baixo	Pouco alto
P5	No máximo muito baixo	Pouco Baixo	Pouco alto	Muito alto	Pouco Baixo	Pouco Baixo	Sem impacto	No máximo muito baixo	No máximo muito baixo	Muito Baixo
P6	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Médio	Pouco alto	Médio	No máximo muito baixo	Pouco alto	No máximo muito baixo
P7	Pelo menos muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Muito alto	Entre pouco alto e muito alto	Entre médio e um pouco alto	Pouco alto	Médio	No máximo muito baixo	Pouco alto	Muito Baixo
P8	No máximo muito baixo	Pouco Baixo	Pouco alto	Muito alto	Pouco Baixo	Pouco Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	No máximo muito baixo
P9	Médio	No máximo muito baixo	Médio	No máximo muito baixo	Muito Baixo	Pouco Baixo	No máximo muito baixo	No máximo muito baixo	Entre médio e um pouco alto	Muito Baixo

Fonte: Própria autoria.

$$D_f = \begin{matrix} & \mathbf{C1} & \mathbf{C2} & \mathbf{C3} & \mathbf{C4} & \mathbf{C5} & \mathbf{C6} & \mathbf{C7} & \mathbf{C8} & \mathbf{C9} & \mathbf{C10} \\ \mathbf{P1} & (0,79;0,17 & 0,84;0,13 & 0,88;0,10 & 0,76;0,21 & 0,82;0,14 & 0,81;0,15 & 0,82;0,13 & 0,87;0,10 & 0,27;0,73 & 0,78;0,17 \\ \mathbf{P2} & 0,94;0,06 & 0,84;0,12 & 0,83;0,13 & 0,85;0,12 & 0,82;0,15 & 0,73;0,22 & 0,70;0,23 & 0,82;0,14 & 0,60;0,37 & 0,66;0,31 \\ \mathbf{P3} & 0,53;0,43 & 0,88;0,09 & 0,75;0,19 & 0,81;0,15 & 0,86;0,10 & 0,91;0,08 & 0,84;0,13 & 0,83;0,12 & 0,35;0,60 & 0,22;0,74 \\ \mathbf{P4} & 0,89;0,10 & 0,89;0,10 & 0,78;0,18 & 0,63;0,33 & 0,66;0,29 & 0,57;0,37 & 0,73;0,25 & 0,77;0,19 & 0,45;0,51 & 0,48;0,47 \\ \mathbf{P5} & 0,45;0,49 & 0,53;0,42 & 0,75;0,21 & 0,62;0,32 & 0,64;0,30 & 0,69;0,26 & 0,41;0,54 & 0,42;0,54 & 0,53;0,42 & 0,54;0,38 \\ \mathbf{P6} & 0,91;0,07 & 0,81;0,15 & 0,86;0,11 & 0,83;0,12 & 0,74;0,23 & 0,74;0,22 & 0,82;0,16 & 0,64;0,33 & 0,82;0,14 & 0,56;0,37 \\ \mathbf{P7} & 0,90;0,07 & 0,85;0,12 & 0,88;0,10 & 0,86;0,12 & 0,75;0,22 & 0,70;0,26 & 0,66;0,30 & 0,54;0,38 & 0,82;0,14 & 0,70;0,26 \\ \mathbf{P8} & 0,59;0,38 & 0,72;0,25 & 0,83;0,15 & 0,74;0,21 & 0,67;0,27 & 0,62;0,33 & 0,64;0,51 & 0,53;0,39 & 0,64;0,31 & 0,61;0,34 \\ \mathbf{P9} & 0,76;0,23 & 0,51;0,44 & 0,70;0,27 & 0,45;0,49 & 0,60;0,34 & 0,44;0,53 & 0,43;0,51 & 0,52;0,41 & 0,65;0,32 & 0,67;0,28 \end{matrix} \quad (52)$$

$$S(D_f) = \begin{matrix} & \mathbf{C1} & \mathbf{C2} & \mathbf{C3} & \mathbf{C4} & \mathbf{C5} & \mathbf{C6} & \mathbf{C7} & \mathbf{C8} & \mathbf{C9} & \mathbf{C10} \\ \mathbf{P1} & (0,6161 & 0,7055 & 0,7766 & 0,5508 & 0,6746 & 0,6562 & 0,6890 & 0,7737 & -0,4570 & 0,6079 \\ \mathbf{P2} & 0,8804 & 0,7268 & 0,6963 & 0,7338 & 0,6635 & 0,5073 & 0,4704 & 0,6742 & 0,2328 & 0,3465 \\ \mathbf{P3} & 0,1073 & 0,7868 & 0,5619 & 0,6559 & 0,7667 & 0,8303 & 0,7102 & 0,7139 & -0,2479 & -0,5198 \\ \mathbf{P4} & 0,7969 & 0,7837 & 0,6076 & 0,3059 & 0,3703 & 0,2007 & 0,4838 & 0,5866 & -0,0614 & 0,0064 \\ \mathbf{P5} & -0,0380 & 0,1100 & 0,5424 & 0,2963 & 0,3398 & 0,4229 & -0,1319 & -0,1211 & 0,1071 & 0,1648 \\ \mathbf{P6} & 0,8388 & 0,6662 & 0,7525 & 0,7132 & 0,5139 & 0,5136 & 0,6628 & 0,3083 & 0,6803 & 0,1932 \\ \mathbf{P7} & 0,8303 & 0,7230 & 0,7888 & 0,7408 & 0,5314 & 0,4420 & 0,3636 & 0,1542 & 0,6763 & 0,4362 \\ \mathbf{P8} & 0,2151 & 0,4706 & 0,6773 & 0,5275 & 0,4008 & 0,2976 & 0,3391 & 0,1349 & 0,3299 & 0,2693 \\ \mathbf{P9} & 0,5299 & 0,0681 & 0,4386 & -0,0429 & 0,2653 & -0,0938 & -0,0816 & 0,1125 & 0,3345 & 0,3915 \end{matrix} \quad (53)$$

Tabela 31 - Desempenho normalizados de cada alternativa em relação à cada critérios na aplicação piloto.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	0,8081	0,8528	0,8883	0,7754	0,8373	0,8281	0,8445	0,8869	0,2715	0,8040
P2	0,9402	0,8634	0,8482	0,8669	0,8318	0,7537	0,7352	0,8371	0,6164	0,6733
P3	0,5536	0,8934	0,7810	0,8280	0,8834	0,9152	0,8551	0,8570	0,3760	0,2401
P4	0,8985	0,8919	0,8038	0,6529	0,6852	0,6004	0,7419	0,7933	0,4693	0,5032
P5	0,4810	0,5550	0,7712	0,6482	0,6699	0,7115	0,4340	0,4395	0,5536	0,5824
P6	0,9194	0,8331	0,8763	0,8566	0,7570	0,7568	0,8314	0,6542	0,8402	0,5966
P7	0,9152	0,8615	0,8944	0,8704	0,7657	0,7210	0,6818	0,5771	0,8382	0,7181
P8	0,6076	0,7353	0,8387	0,7638	0,7004	0,6488	0,6696	0,5675	0,6650	0,6347
P9	0,7650	0,5340	0,7193	0,4785	0,6327	0,4531	0,4592	0,5563	0,6673	0,6958

Fonte: Própria autoria.

Após obter o desempenho agregado e normalizado de cada alternativa em cada critério, aplica-se a técnica PROMETHEE V para selecionar o portfólio de projetos. Conforme descrito previamente na Seção 2.8, inicialmente a diferença no desempenho entre as alternativas são calculadas par-a-par para cada critério, utilizando-se a Equação 18. As tabelas 32 até 41 apresentam o resultado para este processo.

Tabela 32 – Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C1.

C1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	0,13	-0,25	0,09	-0,33	0,11	0,11	-0,20	-0,04
P2	-0,13	0,00	-0,39	-0,04	-0,46	-0,02	-0,03	-0,33	-0,18
P3	0,25	0,39	0,00	0,34	-0,07	0,37	0,36	0,05	0,21
P4	-0,09	0,04	-0,34	0,00	-0,42	0,02	0,02	-0,29	-0,13
P5	0,33	0,46	0,07	0,42	0,00	0,44	0,43	0,13	0,28
P6	-0,11	0,02	-0,37	-0,02	-0,44	0,00	0,00	-0,31	-0,15
P7	-0,11	0,03	-0,36	-0,02	-0,43	0,00	0,00	-0,31	-0,15
P8	0,20	0,33	-0,05	0,29	-0,13	0,31	0,31	0,00	0,16
P9	0,04	0,18	-0,21	0,13	-0,28	0,15	0,15	-0,16	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 33 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C2.

C2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	0,01	0,04	0,04	-0,30	-0,02	0,01	-0,12	-0,32
P2	-0,01	0,00	0,03	0,03	-0,31	-0,03	0,00	-0,13	-0,33
P3	-0,04	-0,03	0,00	0,00	-0,34	-0,06	-0,03	-0,16	-0,36
P4	-0,04	-0,03	0,00	0,00	-0,34	-0,06	-0,03	-0,16	-0,36
P5	0,30	0,31	0,34	0,34	0,00	0,28	0,31	0,18	-0,02
P6	0,02	0,03	0,06	0,06	-0,28	0,00	0,03	-0,10	-0,30
P7	-0,01	0,00	0,03	0,03	-0,31	-0,03	0,00	-0,13	-0,33
P8	0,12	0,13	0,16	0,16	-0,18	0,10	0,13	0,00	-0,20
P9	0,32	0,33	0,36	0,36	0,02	0,30	0,33	0,20	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 34 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C3.

C3	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	-0,04	-0,11	-0,08	-0,12	-0,01	0,01	-0,05	-0,17
P2	0,04	0,00	-0,07	-0,04	-0,08	0,03	0,05	-0,01	-0,13
P3	0,11	0,07	0,00	0,02	-0,01	0,10	0,11	0,06	-0,06
P4	0,08	0,04	-0,02	0,00	-0,03	0,07	0,09	0,03	-0,08
P5	0,12	0,08	0,01	0,03	0,00	0,11	0,12	0,07	-0,05
P6	0,01	-0,03	-0,10	-0,07	-0,11	0,00	0,02	-0,04	-0,16
P7	-0,01	-0,05	-0,11	-0,09	-0,12	-0,02	0,00	-0,06	-0,18
P8	0,05	0,01	-0,06	-0,03	-0,07	0,04	0,06	0,00	-0,12
P9	0,17	0,13	0,06	0,08	0,05	0,16	0,18	0,12	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 35 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C4.

C4	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	0,09	0,05	-0,12	-0,13	0,08	0,09	-0,01	-0,30
P2	-0,09	0,00	-0,04	-0,21	-0,22	-0,01	0,00	-0,10	-0,39
P3	-0,05	0,04	0,00	-0,18	-0,18	0,03	0,04	-0,06	-0,35
P4	0,12	0,21	0,18	0,00	0,00	0,20	0,22	0,11	-0,17
P5	0,13	0,22	0,18	0,00	0,00	0,21	0,22	0,12	-0,17
P6	-0,08	0,01	-0,03	-0,20	-0,21	0,00	0,01	-0,09	-0,38
P7	-0,09	0,00	-0,04	-0,22	-0,22	-0,01	0,00	-0,11	-0,39
P8	0,01	0,10	0,06	-0,11	-0,12	0,09	0,11	0,00	-0,29
P9	0,30	0,39	0,35	0,17	0,17	0,38	0,39	0,29	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 36 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C5.

C5	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	-0,01	0,05	-0,15	-0,17	-0,08	-0,07	-0,14	-0,20
P2	0,01	0,00	0,05	-0,15	-0,16	-0,07	-0,07	-0,13	-0,20
P3	-0,05	-0,05	0,00	-0,20	-0,21	-0,13	-0,12	-0,18	-0,25
P4	0,15	0,15	0,20	0,00	-0,02	0,07	0,08	0,02	-0,05
P5	0,17	0,16	0,21	0,02	0,00	0,09	0,10	0,03	-0,04
P6	0,08	0,07	0,13	-0,07	-0,09	0,00	0,01	-0,06	-0,12
P7	0,07	0,07	0,12	-0,08	-0,10	-0,01	0,00	-0,07	-0,13
P8	0,14	0,13	0,18	-0,02	-0,03	0,06	0,07	0,00	-0,07
P9	0,20	0,20	0,25	0,05	0,04	0,12	0,13	0,07	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 37 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C6.

C6	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	-0,07	0,09	-0,23	-0,12	-0,07	-0,11	-0,18	-0,38
P2	0,07	0,00	0,16	-0,15	-0,04	0,00	-0,03	-0,10	-0,30
P3	-0,09	-0,16	0,00	-0,31	-0,20	-0,16	-0,19	-0,27	-0,46
P4	0,23	0,15	0,31	0,00	0,11	0,16	0,12	0,05	-0,15
P5	0,12	0,04	0,20	-0,11	0,00	0,05	0,01	-0,06	-0,26
P6	0,07	0,00	0,16	-0,16	-0,05	0,00	-0,04	-0,11	-0,30
P7	0,11	0,03	0,19	-0,12	-0,01	0,04	0,00	-0,07	-0,27
P8	0,18	0,10	0,27	-0,05	0,06	0,11	0,07	0,00	-0,20
P9	0,38	0,30	0,46	0,15	0,26	0,30	0,27	0,20	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 38 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C7.

C7	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	-0,11	0,01	-0,10	-0,41	-0,01	-0,16	-0,17	-0,39
P2	0,11	0,00	0,12	0,01	-0,30	0,10	-0,05	-0,07	-0,28
P3	-0,01	-0,12	0,00	-0,11	-0,42	-0,02	-0,17	-0,19	-0,40
P4	0,10	-0,01	0,11	0,00	-0,31	0,09	-0,06	-0,07	-0,28
P5	0,41	0,30	0,42	0,31	0,00	0,40	0,25	0,24	0,03
P6	0,01	-0,10	0,02	-0,09	-0,40	0,00	-0,15	-0,16	-0,37
P7	0,16	0,05	0,17	0,06	-0,25	0,15	0,00	-0,01	-0,22
P8	0,17	0,07	0,19	0,07	-0,24	0,16	0,01	0,00	-0,21
P9	0,39	0,28	0,40	0,28	-0,03	0,37	0,22	0,21	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 39 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C8.

C8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	-0,05	-0,03	-0,09	-0,45	-0,23	-0,31	-0,32	-0,33
P2	0,05	0,00	0,02	-0,04	-0,40	-0,18	-0,26	-0,27	-0,28
P3	0,03	-0,02	0,00	-0,06	-0,42	-0,20	-0,28	-0,29	-0,30
P4	0,09	0,04	0,06	0,00	-0,35	-0,14	-0,22	-0,23	-0,24
P5	0,45	0,40	0,42	0,35	0,00	0,21	0,14	0,13	0,12
P6	0,23	0,18	0,20	0,14	-0,21	0,00	-0,08	-0,09	-0,10
P7	0,31	0,26	0,28	0,22	-0,14	0,08	0,00	-0,01	-0,02
P8	0,32	0,27	0,29	0,23	-0,13	0,09	0,01	0,00	-0,01
P9	0,33	0,28	0,30	0,24	-0,12	0,10	0,02	0,01	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 40 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C9.

C9	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	0,34	0,10	0,20	0,28	0,57	0,57	0,39	0,40
P2	-0,34	0,00	-0,24	-0,15	-0,06	0,22	0,22	0,05	0,05
P3	-0,10	0,24	0,00	0,09	0,18	0,46	0,46	0,29	0,29
P4	-0,20	0,15	-0,09	0,00	0,08	0,37	0,37	0,20	0,20
P5	-0,28	0,06	-0,18	-0,08	0,00	0,29	0,28	0,11	0,11
P6	-0,57	-0,22	-0,46	-0,37	-0,29	0,00	0,00	-0,18	-0,17
P7	-0,57	-0,22	-0,46	-0,37	-0,28	0,00	0,00	-0,17	-0,17
P8	-0,39	-0,05	-0,29	-0,20	-0,11	0,18	0,17	0,00	0,00
P9	-0,40	-0,05	-0,29	-0,20	-0,11	0,17	0,17	0,00	0,00

Fonte: própria autoria.

Tabela 41 - Resultados dos cálculos da diferença entre cada par de alternativas em relação ao critério C10.

C10	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0,00	-0,13	-0,56	-0,30	-0,22	-0,21	-0,09	-0,17	-0,11
P2	0,13	0,00	-0,43	-0,17	-0,09	-0,08	0,04	-0,04	0,02
P3	0,56	0,43	0,00	0,26	0,34	0,36	0,48	0,39	0,46
P4	0,30	0,17	-0,26	0,00	0,08	0,09	0,21	0,13	0,19
P5	0,22	0,09	-0,34	-0,08	0,00	0,01	0,14	0,05	0,11
P6	0,21	0,08	-0,36	-0,09	-0,01	0,00	0,12	0,04	0,10
P7	0,09	-0,04	-0,48	-0,21	-0,14	-0,12	0,00	-0,08	-0,02
P8	0,17	0,04	-0,39	-0,13	-0,05	-0,04	0,08	0,00	0,06
P9	0,11	-0,02	-0,46	-0,19	-0,11	-0,10	0,02	-0,06	0,00

Fonte: própria autoria.

A seguir os índices de preferência entre duas alternativas são calculadas utilizando-se a Equação 19. Para este caso, a função do tipo V (linear com preferência e indiferença) foi aplicada para todos os critérios. Os parâmetros de indiferença e de preferência utilizados foram definidos pelo grupo de decisores, sendo estes $q = 0,05$ e $p = 0,40$ respectivamente. Após a obtenção dos índices de preferência, calcula-se os índices de preferência agregado, conforme representado pela Equação 20. As Tabelas 42 até 51 apresentam os resultados para estes cálculos.

Tabela 42 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C1.

C1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,235	0,000	0,115	0,000	0,175	0,163	0,000	0,000	0,076
P2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P3	0,584	0,962	0,000	0,842	0,000	0,902	0,890	0,011	0,461	0,517
P4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P5	0,792	1,000	0,065	1,000	0,000	1,000	1,000	0,219	0,669	0,638
P6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	0,430	0,808	0,000	0,688	0,000	0,748	0,736	0,000	0,307	0,413
P9	0,000	0,358	0,000	0,239	0,000	0,298	0,286	0,000	0,000	0,131
Fluxo +	0,201	0,374	0,007	0,321	0,000	0,347	0,342	0,026	0,160	

Fonte: própria autoria.

Tabela 43 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C2.

C2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P5	0,708	0,738	0,824	0,820	0,000	0,652	0,733	0,372	0,000	0,539
P6	0,000	0,000	0,029	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
P7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	0,193	0,223	0,309	0,304	0,000	0,137	0,218	0,000	0,000	0,154
P9	0,768	0,798	0,884	0,880	0,000	0,712	0,793	0,432	0,000	0,585
Fluxo +	0,185	0,196	0,227	0,225	0,000	0,167	0,194	0,089	0,000	

Fonte: própria autoria.

Tabela 44 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C3.

C3	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P3	0,164	0,049	0,000	0,000	0,000	0,129	0,181	0,022	0,000	0,061
P4	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,116	0,000	0,000	0,031
P5	0,192	0,077	0,000	0,000	0,000	0,157	0,209	0,050	0,000	0,076
P6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,002
P9	0,340	0,225	0,033	0,099	0,005	0,306	0,357	0,198	0,000	0,174
Fluxo +	0,088	0,039	0,004	0,011	0,001	0,073	0,098	0,030	0,000	

Fonte: própria autoria.

Tabela 45 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C4.

C4	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,119	0,007	0,000	0,000	0,089	0,129	0,000	0,000	0,038
P2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P4	0,207	0,469	0,357	0,000	0,000	0,439	0,478	0,174	0,000	0,236
P5	0,221	0,482	0,371	0,000	0,000	0,453	0,492	0,187	0,000	0,245
P6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	0,000	0,152	0,041	0,000	0,000	0,122	0,162	0,000	0,000	0,053
P9	0,705	0,967	0,856	0,356	0,342	0,937	0,977	0,672	0,000	0,646
Fluxo +	0,126	0,243	0,181	0,040	0,038	0,227	0,249	0,115	0,000	

Fonte: própria autoria.

Tabela 46 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C5.

C5	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P2	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P4	0,292	0,276	0,423	0,000	0,000	0,062	0,087	0,000	0,000	0,127
P5	0,336	0,320	0,467	0,000	0,000	0,106	0,131	0,000	0,000	0,151
P6	0,087	0,071	0,218	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042
P7	0,062	0,046	0,193	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033
P8	0,248	0,233	0,380	0,000	0,000	0,019	0,044	0,000	0,000	0,103
P9	0,442	0,426	0,573	0,007	0,000	0,212	0,237	0,051	0,000	0,216
Fluxo +	0,163	0,152	0,251	0,001	0,000	0,044	0,055	0,006	0,000	

Fonte: própria autoria.

Tabela 47 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C6.

C6	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,000	0,106	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
P2	0,070	0,000	0,319	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043
P3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P4	0,508	0,295	0,757	0,000	0,175	0,304	0,202	0,000	0,000	0,249
P5	0,191	0,000	0,439	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070
P6	0,061	0,000	0,310	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041
P7	0,163	0,000	0,412	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064
P8	0,369	0,157	0,618	0,000	0,036	0,166	0,063	0,000	0,000	0,157
P9	0,929	0,716	1,000	0,278	0,595	0,725	0,623	0,416	0,000	0,587
Fluxo +	0,255	0,130	0,440	0,031	0,090	0,133	0,099	0,046	0,000	

Fonte: própria autoria.

Tabela 48 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C7.

C7	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P2	0,169	0,000	0,200	0,000	0,000	0,132	0,000	0,000	0,000	0,056
P3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P4	0,150	0,000	0,181	0,000	0,000	0,113	0,000	0,000	0,000	0,049
P5	1,000	0,718	1,000	0,737	0,000	0,993	0,565	0,530	0,000	0,616
P6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P7	0,322	0,010	0,352	0,029	0,000	0,285	0,000	0,000	0,000	0,111
P8	0,357	0,045	0,387	0,064	0,000	0,319	0,000	0,000	0,000	0,130
P9	0,958	0,646	0,988	0,665	0,000	0,921	0,493	0,458	0,000	0,570
Fluxo +	0,329	0,158	0,345	0,166	0,000	0,307	0,118	0,110	0,000	

Fonte: própria autoria.

Tabela 49 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C8.

C8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P4	0,124	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018
P5	1,000	0,993	1,000	0,868	0,000	0,471	0,250	0,223	0,191	0,555
P6	0,522	0,380	0,437	0,255	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,177
P7	0,742	0,600	0,657	0,475	0,000	0,077	0,000	0,000	0,000	0,283
P8	0,770	0,628	0,684	0,502	0,000	0,105	0,000	0,000	0,000	0,299
P9	0,802	0,660	0,716	0,534	0,000	0,137	0,000	0,000	0,000	0,317
Fluxo +	0,440	0,362	0,393	0,293	0,000	0,088	0,028	0,025	0,021	

Fonte: própria autoria.

Tabela 50 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C9.

C9	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,843	0,156	0,422	0,663	1,000	1,000	0,981	0,988	0,673
P2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,496	0,491	0,000	0,002	0,110
P3	0,000	0,544	0,000	0,124	0,364	1,000	1,000	0,683	0,689	0,489
P4	0,000	0,278	0,000	0,000	0,098	0,917	0,911	0,416	0,423	0,338
P5	0,000	0,037	0,000	0,000	0,000	0,676	0,670	0,175	0,182	0,193
P6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,358	0,352	0,000	0,000	0,079
P9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,351	0,345	0,000	0,000	0,077
Fluxo +	0,000	0,189	0,017	0,061	0,125	0,533	0,530	0,251	0,254	

Fonte: própria autoria.

Tabela 51 - Resultados do cálculo dos índices de preferência agregado para o critério C10.

C10	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Fluxo -
P1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P2	0,231	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026
P3	1,000	1,000	0,000	0,609	0,835	0,876	1,000	0,985	1,000	0,812
P4	0,717	0,343	0,000	0,000	0,083	0,124	0,471	0,233	0,407	0,264
P5	0,490	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000	0,245	0,007	0,181	0,116
P6	0,450	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000	0,204	0,000	0,140	0,097
P7	0,103	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011
P8	0,341	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,096	0,000	0,032	0,052
P9	0,166	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018
Fluxo +	0,389	0,171	0,000	0,068	0,102	0,111	0,224	0,136	0,196	

Fonte: própria autoria.

Após a obtenção dos índices de preferência agregada, as equações (21) e (22) foram utilizadas, respectivamente, para o cálculo do fluxo de sobreclassificação positivo $\phi^+(a)$ e fluxo de sobreclassificação negativo $\phi^-(a)$. Finalmente, o fluxo líquido $\phi_{net}(a)$ para cada alternativa é calculado aplicando-se a Equação 23. A Tabela 52 a seguir apresenta os resultados para estes cálculos e o ranqueamento de preferência de acordo com os valores do fluxo líquido. Ressalta-se que quanto maior for o valor do fluxo líquido, maior é a preferência da alternativa em relação as demais.

Tabela 52 - Resultados dos cálculos dos fluxos de sobreclassificação e ranqueamento das alternativas de projetos avaliadas.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Fluxo positivo	0,236	0,198	0,195	0,113	0,043	0,204	0,192	0,092	0,072
Fluxo Negativo	0,093	0,029	0,187	0,151	0,303	0,045	0,061	0,134	0,315
Fluxo Global	0,143	0,169	0,008	-0,037	-0,260	0,159	0,131	-0,041	-0,243
Ranking	3	1	5	6	9	2	4	7	8

Fonte: própria autoria.

Após a obtenção dos fluxos líquidos de sobreclassificação para cada alternativa, o modelo de programação linear é aplicado para selecionar o conjunto de ações sustentáveis que maximiza o retorno esperado de incremento no desenvolvimento sustentável para a organização. Na presente aplicação, o objetivo é maximizar o fluxo líquido dos projetos selecionados, respeitando a restrição de investimento estimado disponível de R\$ 2.500.000,00, conforme apresentado pelo modelo linear dado pelas equações 53 e 54. Tabela 53 apresenta o Investimento estimado para cada projeto I_{pi} e o respectivo fluxo líquido calculado anteriormente.

Tabela 53 - Investimento estimado para cada projeto para o desenvolvimento sustentável e fluxo líquido calculado pelo PROMETHEE.

Projeto	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Fluxo Líquido	0,1429	0,1688	0,0083	-0,0372	-0,2599	0,1585	0,1307	-0,0414	-0,2431
Investimento Estimado I_{pi} R\$	700000	2000000	600000	180000	50000	150000	600000	300000	230000

Fonte: própria autoria.

Função objetivo:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^K \phi_{net}(P_i)x_i \quad (53)$$

Sujeito à

$$\sum_{i=1}^n I_{pi}x_i \leq 2.500.000,00 \quad i = 1, 2, \dots, 9 \quad (54)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, 9$$

Como resultado desta aplicação, o conjunto de projetos selecionados foi {P1, P3, P6 e P7}, com um retorno de fluxo líquido de 0,4403 e investimento estimado de R\$2.050.000,00. Este resultado obtido propõem a seleção de uma alternativa de projeto para cada categoria de estratégia sustentável.

Para a estratégia baseada no ciclo fechado, o Projeto 1 busca propor o aproveitamento dos subprodutos resultantes do processo produtivos, encontrando novas alternativas de uso e de agregação de valor para os produtos secundários. Promover estratégias baseada no ciclo fechado é essencial para se aplicar o conceito de manutenção de valor por longo prazo em produtos, materiais e componentes. Por meio da aplicação de estratégias de ciclo fechado, o valor atrelado aos produtos e materiais é mantido no seu mais alto nível pelo maior tempo possível, criando um sistema efetivo e mais circular (GEDAM *et al.*, 2021).

O Projeto 3 busca abordar a estratégia baseada em inovação por meio da integração de tecnologias, tais como a interconexão digital entre os objetos e abordagens de inteligência artificial para otimizar o valor dos produtos. A organização vem buscando a aplicação destas tecnologias para rastrear os recursos e acompanhar o ciclo de vida do produto para permitir o fluxo reverso dos produtos (JABBOUR *et al.*, 2020).

A estratégia baseada na eficiência pode ser abordada com a implementação do Projeto 6 que pretende adaptar a cultura organizacional para incorporar os princípios e estratégias de sustentabilidade nos processos da organização. Este projeto envolve uma ampla colaboração entre os diversos setores, sendo necessário o desenvolvimento de indicadores próprios para acompanhar o desenvolvimento de acordo com os princípios de sustentabilidade (BERTASSINI *et al.*, 2022).

Já o Projeto 7 aborda a questão de responsabilidade social corporativa, focando na estratégia para diminuir os riscos. Este projeto aborda métodos para a conscientização ambiental com a identificação, avaliação e priorização dos riscos sociais e ambientais. A implementação de projetos de responsabilidade social corporativa contribui para o incremento no valor percebido em relação à imagem da organização; há um aumento de interesse de investidores pela empresa, aumento na lealdade de empregados, alcance de investidores de diversas fontes, e incentivo de produção de energia limpa e renovável por meio de programas de responsabilidade social corporativa (MOREA; FORTUNATI; MARTINIELLO, 2021).

Apesar da solução apresentada pelo modelo de decisão apresentar uma busca de equilíbrio entre as estratégias de sustentabilidade, ressalta-se que o resultado final da seleção do portfólio de projetos depende da parametrização utilizada pela técnica multicritério PROMETHEE para descrever as funções de preferência dos critérios. Dessa forma, é importante a realização de análises de sensibilidade para entender a robustez das soluções obtidas após a variação dos parâmetros de entrada (MALIENE; DIXON-GOUGH; MALYS, 2018). A Tabela 54 apresenta os testes realizados para diferentes valores de limiares de preferência e de indiferença. Para cada teste foram obtidos o portfólio de projetos, o fluxo líquido total e o investimento total estimado para o desenvolvimento dos projetos selecionado.

Conforme apresentado pela Tabela 54, o conjunto de projetos selecionados pode sofrer alterações de acordo com os limiares utilizados. Além disso, o fluxo total líquido e o investimento total estimado também são influenciados pela parametrização. Entretanto, é possível observar que alguns projetos selecionados não se alteram apesar da variação dos parâmetros. Os projetos P1, P6 e P7 estão presentes em todas as soluções dos cenários testados. Dessa forma, estes projetos podem ser priorizados na seleção do portfólio de projetos.

O Projeto 3, selecionado na solução inicial, acabou não sendo selecionado em vários dos cenários testados. Isso pode ser parcialmente explicado devido à categoria de estratégia baseada em inovação do Projeto 3. Os riscos e incertezas associados a inovações disruptivas e radicais orientadas a sustentabilidade, como por exemplo a inovação em modelos de negócio, podem fazer com que a organização fique 'presa' em inovações convencionais e incrementais, como por exemplo reciclagem ou melhoria de alguns processos (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). Para que mais inovações disruptivas e radicais orientadas à sustentabilidade sejam incorporadas há a necessidade de nutrir mentalidades que alavanquem e criem novas ideias e inovações na organização. Ressalta-se que uma das grandes barreiras para se produzir inovações sustentáveis é a cultura presente nas organizações (GREER; VON WIRTH; LOORBACH, 2020).

Tabela 54 - Resultados obtidos de acordo com a variação dos limiares p e q no PROMETHEE V.

Limiares		Projetos Selecionados	Fluxo líquido total	Investimento total estimado
p	q			
0,2	0,05	P1, P3, P6, P7	0,750	R\$ 2.050.000,00
0,2	0,1	P1, P3, P6, P7	0,629	R\$ 2.050.000,00
0,2	0,15	P1, P3, P6, P7	0,516	R\$ 2.050.000,00
0,3	0,05	P1, P3, P6, P7	0,569	R\$ 2.050.000,00
0,3	0,1	P1, P3, P6, P7	0,464	R\$ 2.050.000,00
0,3	0,15	P1, P4, P6, P7	0,396	R\$ 1.630.000,00
0,3	0,2	P1, P4, P6, P7	0,369	R\$ 1.630.000,00
0,3	0,25	P1, P4, P6, P7	0,326	R\$ 1.630.000,00
0,4	0,05	P1, P3, P6, P7	0,440	R\$ 2.050.000,00
0,4	0,1	P1, P6, P7	0,360	R\$ 1.450.000,00
0,4	0,15	P1, P4, P6, P7	0,310	R\$ 1.630.000,00
0,4	0,2	P1, P4, P6, P7, P8	0,279	R\$ 1.930.000,00
0,4	0,25	P1, P4, P6, P7, P8	0,241	R\$ 1.930.000,00
0,5	0,05	P1, P6, P7	0,349	R\$ 1.450.000,00
0,5	0,1	P1, P6, P7	0,285	R\$ 1.450.000,00
0,5	0,15	P1, P4, P6, P7	0,238	R\$ 1.630.000,00
0,5	0,2	P1, P4, P6, P7, P8	0,206	R\$ 1.930.000,00
0,5	0,25	P1, P4, P6, P7, P8	0,169	R\$ 1.930.000,00
0,6	0,05	P1, P6, P7	0,287	R\$ 1.450.000,00
0,6	0,1	P1, P6, P7	0,230	R\$ 1.450.000,00
0,6	0,15	P1, P4, P6, P7	0,188	R\$ 1.630.000,00
0,6	0,2	P1, P4, P6, P7, P8	0,157	R\$ 1.930.000,00
0,6	0,25	P1, P4, P6, P7, P8	0,123	R\$ 1.930.000,00

Fonte: própria autoria.

O projeto P4 está presente em mais da metade dos cenários testados (12 dos 23). Já os projetos P3 e P8 estão presentes em um pouco mais de um quarto dos cenários (6 dos 23). Dessa forma, a seleção destes projetos pode depender das estimativas dos valores que serão destinados para o investimento em projetos de sustentabilidade.

Apesar da diferença entre o número de vezes que um projeto aparece na solução da seleção de portfólio de projetos, os portfólios encontrados apresentam uma distribuição próxima de acordo com os cenários testados. Os conjuntos formados pelos projetos {P1, P3, P6 e P7}, {P1, P4, P6, P7}, {P1, P4, P6, P7, P8} apareceram 6 vezes cada como a solução. Já o conjunto formado pelos projetos {P1, P6, P7} apareceu 5 vezes como a solução do modelo. Esse resultado corrobora a importância da avaliação das incertezas do

orçamento estimado para definir o conjunto de projetos que mais se adequam para a realidade da organização.

Dessa forma, os resultados obtidos pela aplicação do modelo de tomada de decisão proposto e os resultados da análise de sensibilidade podem ser utilizados para embasar a tomada de decisão pelo gestor responsável.

6. TESTES COMPUTACIONAIS

Com o objetivo de se avaliar o desempenho do algoritmo genético proposto para o modelo de tomada de decisão em grupo, testes computacionais foram realizados. Os experimentos para análise computacional foram desenvolvidos utilizando computadores com as seguintes características: CPU Intel®Core™ i5-2500K 3,30 GHz, com 8 GB de memória RAM e sistema operacional de 64 bits. O software MATLAB® foi utilizado para implementar os algoritmos.

Ressalta-se que o desempenho do algoritmo depende dos dados de entrada. Além disso, devido à natureza aleatória do algoritmo, diferentes resultados podem ser obtidos cada vez que o programa é rodado. Com o objetivo de avaliar o desempenho do algoritmo genético proposto e a sua robustez, foi proposto um gerador de instância que produziu 54 cenários, que posteriormente foram executados e analisados.

Todos os algoritmos implementados neste estudo foram submetidos na plataforma *Code Ocean* (<https://codeocean.com/>) para a verificação de sua reprodutibilidade. Todos os algoritmos foram aprovados e publicados pela plataforma com um respectivo *DOI* para livre acesso que serão apresentados nas próximas seções.

6.1. GERADOR DE INSTÂNCIA

Foi implementado um gerador de instância para avaliar o desempenho do algoritmo genético considerando diferentes situações, tais como: número diferente de critérios e de tomadores de decisão e variação do grau de hesitação nos julgamentos. Para este fim, foi utilizada uma abordagem de geração de dados de teste aleatórios, que é amplamente utilizada na geração de instâncias (SAKTI; PESANT; GUÉHÉNEUC, 2014). O algoritmo 2 (Quadro 9) apresenta o pseudocódigo gerador de instâncias.

Na linha 1 do Algoritmo 2, são apresentados todos os dados de entrada necessários. Para este teste específico, os termos linguísticos utilizados estão representados na Tabela 13, e a semente inicial utilizada é o número aleatório 94737 (BANKS *et al.*, 2013). As linhas 4 e 5 atribuem o valor 0,5 quando um critério é comparado com ele próprio. A linha 8 define o número de termos (tamanho da hesitação) numa avaliação, e a linha 9 define a

avaliação base. As linhas 11 a 13 definem os termos de pertencimento e não pertencimento, enquanto que as linhas 14 a 16 definem os respectivos termos inversos da relação, evitando assim inconsistências na simulação de julgamentos.

O algoritmo para geração de instancias pode ser acessado utilizando-se o DOI <https://doi.org/10.24433/CO.8846686.v1>, obtido após a verificação de reprodutibilidade pela plataforma *Code Ocean*. As instâncias geradas e os resultados de suas avaliações são apresentados no subcapítulo 6.2 a seguir.

Quadro 9 - Algoritmo para geração de instâncias.

Algoritmo2. Gerador de instância.	
1:	Inputs: Número de critérios (N); número de tomadores de decisão (TD); números <i>intuitionistic fuzzy</i> (IFN) para cada termo linguístico (LT); número de termos linguísticos (NT); número de julgamentos de hesitação (NJ); e a semente inicial para a geração de números aleatórios.
2:	Para l=1 até TD
3:	Para j=1 até N
4:	Membership(i, l, i, l) = 0.5
5:	Non-membership(i, l, i, l) = 0.5
6:	Para k = (i+1) até N
7:	j=1
8:	Hesitation = randi([1,NJ])
9:	Term_base = randi([1, (NT-Hesitation +1)])
10:	Para hes = 1 até Hesitation
11:	Term = Term_base + hes - 1
12:	Membership(i, j, k, l) = IFN(Term, 1)
13:	Non-membership(i, j, k, l) = IFN(Term, 2)
14:	Inverse_Term = NT – Term +1
15:	Membership(k, j, i, l) = IFN(Inverse_Term, 1)
16:	Non-membership(k, j, i, l) = IFN(Inverse_Term, 2)
17:	j = j + 1
18:	Fim
19:	Fim
20:	Fim
21:	Fim
22:	Output: Matrizes de pertencimento e não pertencimento.

Fonte: Calache *et al.* (2022).

6.2. TESTES COMPUTACIONAIS E ANÁLISES DO ALGORITMO GENÉTICO IMPLEMENTADO

Os cenários avaliados para o algoritmo genético apresentam 3, 6 ou 8 tomadores de decisão que julgam as relações de preferência entre 6, 8 ou 10 critérios, com um máximo de 2 ou 3 termos hesitantes. Cada combinação foi avaliada considerando 3 níveis de entrada de compatibilidade diferentes. Por conseguinte, no total, foram avaliados 54 cenários diferentes de tomada de decisão. Para cada cenário, o algoritmo genético foi executado 10 vezes.

Foram efetuados testes preliminares para definir a parametrização do algoritmo genético (Algoritmo 1) apresentado pelo Quadro 7 na Seção 4.2. O tamanho da população foi inicialmente definido como $P = 20$. As soluções de elite são compostas por 30% das melhores soluções classificadas ($B = 6$). Dentre os novos descendentes, 20% ($L = 4$) são modificados pelo operador da mutação. O parâmetro de crossover foi definido como $\epsilon = 0,65$. Os critérios de parada foram definidos como a obtenção do nível de consenso para todos os tomadores de decisão ou um máximo de 10.000 iterações.

O algoritmo genético implementado para a realização dos testes computacionais pode ser acessado utilizando-se o DOI <https://doi.org/10.24433/CO.1050923.v1>, obtido após a verificação de reprodutibilidade pela plataforma *Code Ocean*.

Por exemplo, a Tabela 55 apresenta os resultados de um problema de tomada de decisão com 3 tomadores de decisão, 6 critérios, permitindo um máximo de 3 termos hesitantes em cada julgamento, e uma entrada de compatibilidade desejada de 0,906. Em média, o algoritmo levou 2 minutos e 23 segundos para se obter a solução. O teste de execução 0 representa a aplicação do operador de agregação SDHFWA (Equação 12) sem o algoritmo genético. Já os outros testes de execução (1 até 10) representam uma aplicação do algoritmo genético proposto. Para cada teste executado, são obtidos como resultado os pesos dos tomadores de decisão e os seus respectivos níveis de compatibilidade que são utilizados para calcular o peso dos critérios de decisão.

Tabela 55 - Resultados computacionais para a replicação do AG no cenário considerando 3 tomadores de decisão e 6 critérios.

Execução	TD1		TD2		TD3		Nível de consenso	Amplitude de compat.	TD em consenso
	Compat.	Peso	Compat.	Peso	Compat.	Peso			
0	0.918	0.333	0.942	0.333	0.878	0.333	0.878	0.064	2
1	0.906	0.426	0.908	0.155	0.906	0.420	0.906	0.002	3
2	0.906	0.399	0.908	0.151	0.906	0.450	0.906	0.002	3
3	0.906	0.365	0.907	0.184	0.906	0.451	0.906	0.001	3
4	0.907	0.279	0.907	0.307	0.906	0.414	0.906	0.002	3
5	0.907	0.375	0.906	0.171	0.906	0.454	0.906	0.001	3
6	0.906	0.427	0.906	0.162	0.906	0.411	0.906	0.000	3
7	0.906	0.364	0.907	0.293	0.906	0.344	0.906	0.000	3
8	0.907	0.495	0.907	0.132	0.906	0.373	0.906	0.001	3
9	0.906	0.339	0.907	0.186	0.906	0.476	0.906	0.001	3
10	0.906	0.439	0.908	0.184	0.906	0.377	0.906	0.002	3

Fonte: Própria autoria.

Alguns indicadores de desempenho são utilizados para avaliar o algoritmo proposto. O “nível de consenso” apresenta o nível mínimo de compatibilidade alcançado entre todos os tomadores de decisão. Além disso, é possível verificar a robustez do algoritmo, uma vez que este conduziu à níveis de consenso muito próximos. A “amplitude de compatibilidade” representa a diferença entre o maior e o menor valor de compatibilidade entre os tomadores de decisão. Quanto menor for o intervalo entre os valores de compatibilidades, melhor será o resultado, tornando as opiniões dos tomadores de decisão mais próximas. A última coluna da Tabela 55, “TD em consenso”, representa o número de tomadores de decisão cujo nível de compatibilidade atingiu a entrada de compatibilidade desejada. Os resultados na Tabela 55 indicam um desempenho satisfatório do AG, onde o nível de consenso foi melhorado com um baixo intervalo entre os valores de compatibilidades dos tomadores de decisão e um baixo tempo de execução. Neste caso, considerando-se um nível de compatibilidade de $\alpha=0,906$, todos os tomadores de decisão estão em consenso para todos os 10 testes executados.

Este processo foi repetido em todas as 54 diferentes instâncias. As Tabelas 56 a 58 resumem os principais resultados obtidos para esses testes. A primeira coluna das tabelas apresenta o número de critérios que são avaliados pelos tomadores de decisão. A segunda coluna mostra o nível de hesitação nos julgamentos, onde o elevado nível de hesitação significa que um julgamento pode ser representado por até 3 termos linguísticos diferentes.

Por outro lado, um baixo nível de hesitação significa que um julgamento pode ser realizado por no máximo 2 termos linguísticos diferentes. O “tipo de teste” na terceira coluna indica como os resultados foram obtidos: pela aplicação do operador de agregação SDHFWA sem o algoritmo genético, ou pela aplicação do algoritmo genético proposto. A quarta coluna apresenta o nível de compatibilidade desejada (α), que é um *input* para o AG. Os níveis de compatibilidade desejadas α foram definidas com base nos resultados do operador de agregação, e são diferentes para cada instância devido à aleatorização do gerador de instância. A “amplitude de soluções” avalia a diferença entre os níveis de consenso superior e inferior das soluções entre as 10 vezes em que o algoritmo foi executado. Pode ser utilizado como um indicativo para avaliar a robustez das soluções. A “amplitude média de compatibilidade” representa o valor médio da “amplitude de compatibilidade” entre todas as 10 rodadas do algoritmo. O “melhor nível de consenso” representa o maior valor encontrado entre as 10 execuções do algoritmo, e é apresentado na sétima coluna. Mais uma vez, o “TD em consenso” apresenta a média dos tomadores de decisão que apresentam o nível de compatibilidade encontrado pelo algoritmo mais elevado do que a entrada de compatibilidade desejada (α). Finalmente, a última coluna destaca o “tempo médio de execução” para cada execução em segundos.

Em todos os resultados das Tabelas 56 a 58, o nível de consenso alcançado para instâncias com alta hesitação foi superior ao nível de consenso para instâncias com baixa hesitação. Desta forma, permitir um elevado nível de hesitação pode contribuir para a melhoria do consenso entre os tomadores de decisão. Além disso, pode-se ver que vários fatores podem influenciar o “tempo médio de execução” e o “melhor nível de consenso”, tais como: o incremento do número de tomadores de decisão ou no número de critérios aumentam o tempo computacional e reduzem o nível de consenso.

Os resultados apresentados na Tabela 56 destacam que a aplicação do AG melhora os níveis de consenso com um tempo de execução baixo para os cenários com 3 tomadores de decisão. Nestes cenários, o AG apresenta valores muito baixos para a “amplitude de soluções” com a obtenção das mesmas soluções ou soluções muito próximas entre os testes executados. Além disso, a “amplitude média de compatibilidade” também atingiu valores baixos e na coluna de “TD em consenso”, o número de tomadores de decisão com nível de compatibilidade superior à entrada de compatibilidade desejada aumenta com a aplicação da AG.

Tabela 56 - Testes computacionais considerando 3 tomadores de decisão.

Número de critérios	Nível de hesitação	Tipo de teste	Compat. desejada	Amplitude de soluções	Amplitude média de compat.	Melhor nível de consenso	TD em consenso (média)	Tempo médio de execução (s)	
6 Crítérios	Alto	Agregação	-	-	0,064	0,878	2	-	
		Algoritmo Genético	0,905	0,001	0,003	0,905	3	12	
			0,906	0,001	0,001	0,906	3	134	
			0,910	0,003	0,010	0,902	2	439	
	Baixo	Agregação	-	-	0,064	0,875	2	-	
		Algoritmo Genético	0,900	0,001	0,013	0,902	3	1	
			0,902	0,001	0,004	0,903	3	11	
			0,903	0,001	0,003	0,903	3	97	
	8 Crítérios	Alto	Agregação	-	-	0,014	0,886	2	-
			Algoritmo Genético	0,892	0,001	0,006	0,894	3	7
				0,893	0,002	0,004	0,895	3	16
				0,895	0,002	0,001	0,895	3	645
Baixo		Agregação	-	-	0,027	0,874	2	-	
		Algoritmo Genético	0,885	0,005	0,008	0,890	3	10	
			0,888	0,002	0,004	0,890	3	97	
			0,890	0,001	0,001	0,890	3	271	
10 Crítérios		Alto	Agregação	-	-	0,027	0,911	1	-
			Algoritmo Genético	0,915	0,003	0,006	0,918	3	6
				0,917	0,001	0,003	0,918	3	27
				0,918	0,000	0,001	0,918	3	95
	Baixo	Agregação	-	-	0,037	0,901	1	-	
		Algoritmo Genético	0,910	0,004	0,004	0,912	3	37	
			0,911	0,002	0,002	0,912	3	233	
			0,912	0,001	0,001	0,912	3	709	

Fonte: Própria autoria.

Os resultados da Tabela 57 apoiam a aplicação da AG para a melhoria do nível de consenso. Quando comparado com o operador de agregação sem a AG, o nível de consenso e a média do número de tomadores de decisão em consenso aumentam em todos os testes com a aplicação da AG. Contudo, ao comparar com os resultados da Tabela 56, os testes com 6 tomadores de decisão requerem um “tempo médio de execução” mais elevado. Além disso, os resultados da Tabela 57 apresentam níveis mais elevados para a “amplitude de soluções” e para a “amplitude média de compatibilidade” quando comparados com os testes realizados para os cenários com 3 tomadores de decisão.

Tabela 57 - Testes computacionais considerando 6 tomadores de decisão.

Número de critérios	Nível de hesitação	Tipo de teste	Compat. desejada	Amplitude de soluções	Amplitude média de compat.	Melhor nível de consenso	TD em consenso (média)	Tempo médio de execução (s)	
6 Crítérios	Alto	Agregação	-	-	0,045	0,853	5	-	
		Algoritmo Genético	0,860	0,007	0,034	0,867	6	74	
			0,865	0,007	0,031	0,867	5,8	1197	
			0,867	0,007	0,022	0,869	5,4	1198	
	Baixo	Agregação	-	-	0,076	0,815	5	-	
		Algoritmo Genético	0,850	0,019	0,032	0,855	5,6	399	
			0,855	0,027	0,030	0,857	5,3	758	
			0,860	0,053	0,047	0,851	5	809	
	8 Crítérios	Alto	Agregação	-	-	0,033	0,860	5	-
			Algoritmo Genético	0,860	0,013	0,018	0,872	5,9	3972
				0,865	0,003	0,021	0,871	6	3682
				0,875	0,024	0,029	0,872	5	4081
Baixo		Agregação	-	-	0,047	0,839	5	-	
		Algoritmo Genético	0,850	0,004	0,038	0,859	6	47	
			0,860	0,027	0,022	0,862	5,7	705	
			0,862	0,056	0,027	0,866	5,6	1090	
10 Crítérios		Alto	Agregação	-	-	0,055	0,871	5	-
			Algoritmo Genético	0,880	0,004	0,022	0,883	5,9	1470
				0,883	0,008	0,025	0,884	5,5	5999
				0,885	0,023	0,030	0,887	5,9	8365
	Baixo	Agregação	-	-	0,027	0,871	4	-	
		Algoritmo Genético	0,875	0,002	0,027	0,877	5,9	554	
			0,878	0,014	0,027	0,880	5,5	1268	
			0,880	0,033	0,037	0,880	5	2620	

Fonte: Própria autoria.

Os resultados da Tabela 58 demonstram que as instâncias com 8 tomadores de decisão precisam de um tempo computacional mais elevado em comparação com os resultados das Tabelas 56 e 57. Isso pode indicar que o aumento do número de tomadores de decisão apresenta um elevado impacto na complexidade computacional, e consequentemente um aumento no tempo computacional. Isto se justifica devido ao processo de avaliação da compatibilidade de forma pareada. Além disso, para um grande grupo de tomadores de decisão, a “amplitude média de compatibilidade” e os níveis de consenso alcançados com as aplicações do AG, apresentam resultados muito próximos aos resultados obtidos simplesmente aplicando-se o operador de agregação.

Tabela 58 - Testes computacionais considerando 8 tomadores de decisão.

Número de critérios	Nível de hesitação	Tipo de teste	Compat. desejada	Amplitude de soluções	Amplitude média de compat.	Melhor nível de consenso	TD em consenso (média)	Tempo médio de execução (s)	
6 Critérios	Alto	Agregação	-	-	0.023	0.813	6	-	
		Algoritmo Genético	0.816	0.001	0.023	0.817	8	1643	
			0.817	0.001	0.023	0.817	7	22852	
			0.82	0.001	0.023	0.817	6	23475	
	Baixo	Agregação	-	-	0.030	0.803	6	-	
		Algoritmo Genético	0.807	0.000	0.028	0.807	8	2158	
			0.808	0.001	0.028	0.808	7.5	20192	
			0.810	0.001	0.029	0.808	7	20180	
	8 Critérios	Alto	Agregação	-	-	0.027	0.815	5	-
			Algoritmo Genético	0.817	0.001	0.027	0.817	7,6	23047
				0.818	0.001	0.027	0.818	7.1	46049
				0.820	0.001	0.027	0.817	6.1	46120
Baixo		Agregação	-	-	0.029	0.802	7	-	
		Algoritmo Genético	0.805	0.001	0.029	0.805	7.9	911	
			0.806	0.001	0.029	0.806	7.7	1375	
			0.807	0.002	0.029	0.806	7	3463	
10 Critérios		Alto	Agregação	-	-	0.017	0.807	4	-
			Algoritmo Genético	0.809	0.000	0.017	0.809	8	7210
				0.810	0.001	0.017	0.810	7.1	80201
				0.811	0.001	0.017	0.810	5.5	88469
	Baixo	Agregação	-	-	0.039	0.767	7	-	
		Algoritmo Genético	0.768	0.001	0.038	0.768	7	2272	
			0.769	0.001	0.037	0.769	7	5476	
			0.77	0.001	0.037	0.769	7	5474	

Fonte: Própria autoria.

Em resumo, todos os testes demonstram que o algoritmo genético proposto é robusto, aumenta o nível de consenso entre os tomadores de decisão, e aumenta o número médio de tomadores de decisão em consenso. Os resultados indicaram que a implementação da abordagem utilizando a AG melhora os níveis de consenso para problemas que envolvem poucos tomadores de decisão. Além disso, o algoritmo apresenta soluções robustas com baixo intervalo de variação. Portanto, a utilização do algoritmo evolutivo é uma alternativa interessante principalmente para a construção de consensos, quando um pequeno grupo de tomadores de decisão apresentam um elevado grau de hesitação nos seus julgamentos. Contudo, em problemas com um grande número de tomadores de decisão,

outros métodos de consenso podem ser mais adequados para alcançar soluções mais rapidamente.

6.3. COMPARAÇÃO COM UM ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO DE ENXAME DE PARTÍCULAS (PSO)

Para avaliar a eficácia do algoritmo genético proposto, foi implementado um algoritmo de Otimização de Enxame de Partículas (PSO) para comparar os resultados nos cenários previamente testados. O algoritmo PSO implementado para a realização dos testes computacionais pode ser acessado utilizando-se o DOI <https://doi.org/10.24433/CO.8453594.v1>, obtido após a verificação de reprodutibilidade pela plataforma *Code Ocean*.

O algoritmo PSO implementado, utilizado para a comparação com a AG proposta no presente estudo, é detalhado no Algoritmo 3, que visa melhorar a compatibilidade entre os juízos do decisor. Com base em testes preliminares e nos estudos apresentados em Marini e Walczak (2015), os parâmetros foram definidos como $C_1 = C_2 = 2$; $\omega = 1$; e o número de partículas, $N = 20$. O critério de paragem foi a obtenção de um consenso para todos os decisores ou um máximo de 10000 iterações, tal como utilizado pelo AG proposto neste estudo.

A fim de realizar a comparação entre o algoritmo genético proposto e o algoritmo PSO desenvolvido, foram realizados vários testes computacionais utilizando as mesmas instâncias anteriormente geradas. Os cenários utilizados para esta avaliação apresentam 3, 6, ou 8 decisores que julgam as relações de preferência entre 6, 8, ou 10 critérios, com um máximo de 3 termos hesitantes. A escolha de testar apenas os cenários que permitem a utilização de até 3 termos hesitantes permitiu uma gama mais ampla de hesitações e um nível de compatibilidade mais elevado. Cada combinação de decisores e critérios foi testada considerando os mesmos 3 diferentes níveis de entrada de compatibilidade utilizados nos testes computacionais do AG. Para cada cenário, o algoritmo PSO foi executado 10 vezes. A Tabela 59 apresenta os resultados dos testes de execução considerando 3 decisores, 6 critérios, e nível de compatibilidade de $\alpha = 0.906$.

Quadro 10 - Algoritmo PSO para melhoria da compatibilidade DHFS

Algoritmo 3. Particle Swarm Optimization (PSO) para melhoria da compatibilidade.	
1:	Input: Nível de consenso desejado $\alpha \in [0,1]$; matrizes de preferencia individuais; número de partículas N ; número de tomadores de decisão D ; peso inicial ω ; coeficiente cognitivo C_1 ; coeficiente social C_2 ; critérios de parada.
2:	Criar uma população aleatória de tamanho N . Cada partícula p é composta por D números reais representado por $w_d \sim U[0, 1]$ e normalizados tal que $\sum_{d=1}^D w_d = 1$, onde w_d is é o peso de cada tomador de decisão $d = 1, 2, \dots, D$;
3:	Definir a melhor posição de cada particular com a sua posição inicial: $x_{Best_p}^0$.
4:	Agregar os julgamentos dos tomadores de decisão em uma matriz A utilizando a Equação 11;
5:	Avaliar o <i>fitness</i> de cada particular aplicando a medição de compatibilidade $c(R^d, A) \forall d$.
6:	Atualizar o <i>fitness</i> : se a compatibilidade medida de um tomador de decisão d é maior ou igual a α , então $c(R^d, A) = 1$, indicando que o tomadore de decisão d is está em consenso.
7:	Definir a melhor solução global baseado no fitness atualizado: $g_{Best_p}^0$.
8:	Criar aleatoriamente o vetor inicial de velocidade para cada partícula: v_p^0 .
9:	Enquanto a somatória $\{c(R^d, A) d = 1, 2, \dots, D\} < D$ ou o critério de parada não for atingido, realizar os seguintes procedimentos:
10:	Atualizar a velocidade v_p^t para cada partícula utilizando a Equação 15.
11:	Atualizar a posição x_p^t para cada particular utilizando a Equação 14.
12:	Normalizar a nova posição alcançada com $\sum_{d=1}^D w_d = 1$.
13:	Agregar os julgamentos dos tomadores de decisão em uma matriz utilizando a Equação 12;
14:	Avaliar o novo <i>fitness</i> de cada partícula aplicando a medição de compatibilidade $c(R^d, A) \forall d$.
15:	Atualizar o <i>fitness</i> : se a medida de compatibilidade do tomador de decisão d é maior ou igual a α , então $c(R^d, A) = 1$.
16:	Atualizar a melhor posição individual de cada partícula $x_{Best_p}^t$: se o fitness da nova posição alcançada for melhor do que o fitness da atual melhor posição pessoal, então a nova posição alcançada é definida como a melhor posição pessoal da partícula.
17:	Atualizar a melhor posição global entre todas as partículas $g_{Best_p}^t$: se alguma nova posição alcançada por uma particular apresentar um maior valor fitness do que o atual registrado como melhor solução global, então a melhor solução global é atualizada com a nova posição da partícula com melhor then fitness.
18:	Fim do laço.
19:	Output: o nível de compatibilidade e os pesos dos tomadores de decisão dados pela melhor solução global atingida.

Fonte: adaptado de Calache *et al.* (2022).

Tabela 59 - Testes computacionais do algoritmo PSO para 3 tomadores de decisão e 6 critérios.

Execução	TD1		TD2		TD3		Nível de consenso	Amplitude de compat.	TD em consenso
	Compat.	Peso	Compat.	Peso	Compat.	Peso			
1	0,898	0,325	0,921	0,246	0,908	0,428	0,898	0,023	2
2	0,906	0,370	0,914	0,198	0,904	0,432	0,904	0,010	2
3	0,918	0,417	0,913	0,173	0,893	0,411	0,893	0,026	2
4	0,912	0,361	0,925	0,244	0,895	0,395	0,895	0,030	2
5	0,904	0,380	0,908	0,170	0,908	0,450	0,904	0,005	2
6	0,907	0,365	0,917	0,210	0,903	0,425	0,903	0,014	2
7	0,907	0,374	0,914	0,193	0,904	0,433	0,904	0,010	2
8	0,905	0,388	0,907	0,163	0,907	0,449	0,905	0,002	2
9	0,901	0,341	0,920	0,232	0,906	0,428	0,901	0,018	2
10	0,907	0,363	0,918	0,214	0,903	0,424	0,903	0,015	2

Fonte: própria autoria.

O mesmo procedimento foi aplicado para os outros cenários. A Tabela 60 apresenta os resultados obtidos com o algoritmo PSO. A primeira coluna mostra o número de critérios que estão a ser avaliados por diferentes números de decisores, definidos na segunda coluna. A terceira coluna indica a entrada de compatibilidade desejada. As colunas da quarta a oitava apresentam os indicadores de desempenho, tal como descritos no subcapítulo anterior.

Os resultados da Tabela 60 mostram a robustez do algoritmo PSO desenvolvido, uma vez que a amplitude da solução e a amplitude média de compatibilidade obtida nos testes apresentam valores baixos e com pequena variação. Contudo, a comparação dos indicadores apresentados na Tabela 60 com os resultados das tabelas 56 a 58, obtidos com o AG, indica que o AG proposta neste estudo apresenta melhores resultados em todos os indicadores de desempenho. Ou seja, para todos os cenários testados, o algoritmo genético alcançou melhores níveis de consenso, um maior número de decisores em consenso e um tempo de execução mais curto. Portanto, considerando as instâncias geradas, foi possível verificar uma melhor eficiência do algoritmo genético para o problema abordado neste estudo.

Tabela 60 - Resultados dos testes computacionais para o algoritmo PSO.

Numero de critérios	Número de TD	Compatibilidade	Amplitude de solução	Amplitude da compatibilidade média	Melhor nível de consenso	TD em consenso (média)	Média de tempo (s)
6	3	0,905	0,007	0,016	0,904	2	688
		0,906	0,013	0,015	0,906	2	660
		0,910	0,010	0,022	0,910	2	667
	6	0,860	0,015	0,041	0,865	5,6	2065
		0,865	0,058	0,053	0,866	5,1	5132
		0,867	0,057	0,051	0,865	4,7	6233
	8	0,816	0,002	0,023	0,816	7,3	23492
		0,817	0,002	0,023	0,816	6,9	33041
		0,820	0,002	0,023	0,816	6,0	48262
8	3	0,892	0,020	0,017	0,893	2,1	1041
		0,893	0,014	0,016	0,891	2	1181
		0,895	0,024	0,016	0,894	2	1164
	6	0,860	0,017	0,031	0,870	5,4	5213
		0,865	0,039	0,042	0,869	5,3	8345
		0,875	0,051	0,049	0,865	4,4	8650
	8	0,817	0,003	0,027	0,817	7,1	61083
		0,818	0,003	0,027	0,817	6,7	66399
		0,820	0,002	0,027	0,817	5,9	89621
10	3	0,915	0,007	0,010	0,917	2,5	1026
		0,917	0,008	0,010	0,918	1,7	1268
		0,918	0,015	0,016	0,918	2,1	1637
	6	0,880	0,025	0,043	0,880	5,0	12197
		0,883	0,040	0,048	0,878	4,8	13553
		0,885	0,054	0,056	0,879	4,8	18435
	8	0,809	0,001	0,017	0,809	6,7	89753
		0,810	0,001	0,017	0,809	5,3	98488
		0,811	0,002	0,017	0,810	4,3	100668

Fonte: própria autoria.

7. CONCLUSÕES

O desfecho da presente Tese busca avaliar criticamente o trabalho desenvolvido, bem como suas limitações e oportunidades de trabalhos futuros. Desta forma, a Seção 7.1 apresenta o levantamento dos principais resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do estudo. A Seção 7.2 evidencia as limitações e desafios do presente trabalho e, a Seção 7.3, identifica as oportunidades e sugestões de estudos futuros.

7.1. CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO

O processo de tomada de decisão é uma atividade comum e essencial para o gerenciamento de qualquer organização que normalmente envolve múltiplos tomadores de decisão de diferentes setores e com experiência e conhecimento variados. Para lidar com diferentes tipos de processos de tomada de decisão, diferentes abordagens de tomada de decisão em grupo vêm sendo propostas pela literatura. De uma forma geral, as abordagens para a tomada de decisão em grupo buscam utilizar técnicas baseadas na agregação de julgamentos dos tomadores de decisão ou técnicas que buscam o consenso entre os tomadores de decisão. O presente estudo buscou propor um modelo de tomada de decisão em grupo que utiliza tanto técnicas baseadas na agregação dos julgamentos, quanto as técnicas para o consenso. Nesta proposta, as diferentes abordagens são aplicadas em diferentes etapas do processo de decisão, dependendo das necessidades para cada etapa, sendo estas: estruturação do problema de decisão; busca de consenso para ponderação dos critérios e dos tomadores de decisão e; tomada de decisão com a seleção do conjunto de alternativas.

Para a estruturação do problema, métodos de estruturação de problemas em grupo (PSMs) foram apresentados para facilitar a compreensão do problema de decisão. Para essa etapa esses métodos podem ser aplicados individualmente ou em conjuntos para elucidar as características do problema, tais como os objetivos, as alternativas, os critérios e os tomadores de decisão. Diferentes PSMs foram apresentados, tais como o SODA, SSM, SCA, RA e o VFT. Entretanto, a utilização de um ou mais PSMs dependem das

necessidades do problema abordado. No presente estudo, o VFT foi aplicado para entender os objetivos do caso de aplicação e definir os critérios e alternativas.

A segunda etapa do modelo de tomada de decisão engloba a busca do consenso entre os tomadores de decisão. Inicialmente, este estudo apresentou um levantamento das abordagens de consenso utilizadas em conjunto com técnicas multicritério. Posteriormente, os estudos foram classificados em diferentes categorias de abordagens de consenso. Com isso, foi evidenciado as limitações das propostas de busca de consenso presentes nos estudos, dando embasamento para o desenvolvimento de uma nova abordagem. Foi desenvolvido um algoritmo genético que busca um nível de consenso entre os tomadores de decisão para definir o peso dos critérios e dos próprios tomadores de decisão. As avaliações individuais dos tomadores de decisão sobre a preferência entre os critérios foram utilizadas como dado de entrada para o algoritmo. A representação de informação *Dual Hesitant Fuzzy Sets* (DHFS) foi utilizada para lidar com os diferentes tipos de imprecisões contidos nos julgamentos.

A última etapa do modelo de tomada de decisão proposto é composta pelo processo de tomada de decisão que busca agregar as opiniões dos tomadores de decisão. Nesta etapa, as diferentes percepções dos tomadores de decisão são coletadas por meio de avaliações do desempenho das alternativas em relação aos critérios. Diferentes técnicas multicritério e modelos matemáticos podem ser aplicados para embasar o processo de seleção de alternativas, de acordo com as necessidades do problema abordado. Novamente, a representação de informação DHFS é utilizada para coletar os julgamentos. Para tratar problemas de seleção de portfólio de alternativas, a técnica multicritério PROMETHEE V foi apresentada devido seu direcionamento específico para esse tipo de problema. Após a aplicação dos passos presentes no PROMETHEE I e PROMETHEE II, o PROMETHEE V utiliza um modelo matemático para maximizar o fluxo líquido do portfólio de alternativas respeitando restrições impostas pelo problema.

O modelo de tomada de decisão proposto neste estudo foi aplicado em um caso real de uma multinacional de grande porte do setor de mineração e siderurgia que opera no Brasil. Nessa aplicação piloto, a empresa desejava selecionar projetos sustentáveis para apoiar o seu desenvolvimento. Dessa forma, o VFT foi aplicado para definir os objetivos do problema e identificar ou formular os critérios e alternativas. O algoritmo genético proposto foi utilizado para buscar o consenso entre os tomadores de decisão na definição

dos pesos dos critérios sustentáveis e pesos dos próprios tomadores de decisão. Finalmente, o PROMETHEE V foi aplicado para a seleção do conjunto de alternativas que maximizam o potencial do desenvolvimento sustentável da organização, respeitando a restrição de investimento máximo disponível. Uma análise de sensibilidade foi realizada para verificar o quanto a parametrização do PROMETHEE V influencia na decisão final. Foi verificado que a solução pode sofrer algumas alterações de acordo com a variação dos parâmetros de preferência e indiferença utilizados, entretanto, uma base de projetos se repete em todos os cenários testados. Sendo assim, a solução apresentada no caso se mostrou robusta, e a definição do conjunto de projetos pode depender das incertezas sobre o valor reservado para investimento.

O algoritmo genético implementado neste estudo passou por uma série de testes computacionais para possibilitar a avaliação do seu desempenho. Um gerador de instâncias foi proposto para criar diferentes cenários de testes, e permitir assim sua replicação. No total 54 cenários foram criados alterando-se os números de critérios, tomadores de decisão, capacidade de hesitação das avaliações e nível de compatibilidade desejado entre os tomadores de decisão. Cada cenário foi executado 10 vezes para a avaliação de robustez do algoritmo. Além disso, um algoritmo de otimização por enxame (PSO) foi implementado para possibilitar a comparação entre os resultados dos algoritmos e comprovar a efetividade do algoritmo genético apresentado. Os algoritmos foram avaliados de acordo com a amplitude das soluções, amplitude média de compatibilidade dos tomadores de decisão, melhor nível de consenso obtido, número médio de tomadores de decisão em consenso e tempo médio de execução. Os testes computacionais realizados para os cenários propostos comprovaram a robustez e a efetividade do AG que apresentou os melhores indicadores quando comparado com o PSO e com um simples processo de agregação dos julgamentos. Todos os algoritmos propostos e implementados neste estudo foram submetidos à plataforma *Code Ocean* para a verificação de reprodutibilidade. Todos os algoritmos passaram pela avaliação da plataforma e receberam um *DOI* confirmando sua reprodutibilidade.

Além do modelo de tomada de decisão proposto neste estudo e os algoritmos evolutivos desenvolvidos, o presente estudo contribuiu com a literatura por meio de vários levantamentos obtidos com revisões sistemáticas da literatura que evidenciaram oportunidades de estudos.

A revisão apresentada sobre abordagens de consenso em conjunto com técnicas multicritério possibilitou apresentar diversas definições utilizadas para o termo consenso. Além disso, 237 artigos foram levantados e classificados para elucidação do tema. Cinco categorias de abordagens de consenso foram definidas para classificação dos estudos e as respectivas vantagens e desvantagens foram apresentadas. Como resultado deste levantamento foi apresentado uma análise bibliométrica do tema e foi destacado a oportunidade de se combinar diferentes abordagens de consenso e técnicas multicritério para diferentes etapas do processo de tomada de decisão.

A segunda revisão sistemática realizada apresentou o levantamento de 116 estudos que realizaram aplicações com a representação de informação *Dual Hesitant Fuzzy Sets*. Este levantamento apresentou o estado da arte sobre o tema com a respectiva análise bibliométrica. Como oportunidades de estudo verificou-se a falta de combinação de técnicas de estruturação de problemas com o DHFS e; a ausência da utilização de algoritmos evolutivos para lidar com problemas não lineares e a representação DHFS simultaneamente.

A terceira revisão apresentada abordou os algoritmos evolutivos aplicados nos processos de tomada de decisão em grupo. Com enfoque nos algoritmos genéticos e algoritmos de otimização por enxame de partículas, 97 estudos foram levantados para avaliação. Após a realização da análise bibliométrica e classificação dos artigos de acordo com aplicações, técnicas combinadas e representações da informação, verificou-se a ausência de estudos que combinem estes algoritmos com a representação DHFS para a tomada de decisão em grupo.

Finalmente, um levantamento foi realizado para verificar os estudos que abordam estratégias de sustentabilidade para cadeias de fornecimento. Esta revisão possibilitou a identificação de categorias de estratégias de sustentabilidade que foram utilizadas para classificar os estudos encontrados. Além disso, foi realizado um levantamento sobre as abordagens utilizadas para esses problemas, sendo possível observar oportunidades de estudos para aprimorar o processo de tomada de decisão no contexto. Também foram levantados os estudos que buscam selecionar projetos de sustentabilidade, destacando os tipos de informação, métodos de decisão e princípios de sustentabilidade abordados em cada estudo. Dessa forma, foi possível destacar a contribuição da presente Tese também em relação à aplicação do modelo proposto na seleção de projetos sustentáveis.

Em síntese, o presente estudo apresentou contribuições teóricas e práticas para a literatura. As revisões sistemáticas realizadas apresentaram o estado da arte de temas que estão ganhando maior atenção ao longo dos anos. Dessa forma, foram evidenciadas diferentes oportunidades de estudos e lacunas de pesquisa. Nenhum estudo anterior havia proposto um modelo que combinava as abordagens de consenso e agregação de julgamentos com algoritmos evolutivos e a representação DHFS. Além disso, o modelo proposto foi aplicado no contexto de seleção de ações estratégicas sustentáveis em um caso real de uma organização. Ademais, diferentes combinações de abordagens foram apresentadas pela primeira vez, tais como: algoritmo genético com o DHFS; algoritmo PSO com o DHFS; PROMETHEE V com o DHFS; VFT combinado com AG e uma PROMETHEE V. De uma perspectiva gerencial, este estudo apresenta uma abordagem científica destinada a ajudar as organizações com processos complexos de tomada de decisão fornecendo orientações por meio da aplicação do modelo de tomada de decisão.

7.2. LIMITAÇÕES E DESAFIOS DO ESTUDO

Os seguintes parágrafos apresentam as limitações e os desafios enfrentados ao longo do desenvolvimento do estudo.

Foi utilizado apenas a representação de informação *Dual Hesitant Fuzzy Sets* para lidar com os diferentes tipos de imprecisões contidos nos julgamentos dos tomadores de decisão. Sendo assim, o trabalho está limitado às operações e às propriedades desta específica generalização dos conjuntos fuzzy, que busca tratar computacionalmente os julgamentos mais complexos formulados por meio de frases com diferentes tipos de hesitações. Além disso, apenas o operador de agregação *symmetric dual hesitant fuzzy weighted averaging* foi aplicado para se obter as matrizes de decisão em grupo. Este operador foi selecionado devido sua capacidade de atribuir a mesma importância para todos os elementos que compõem um número DHFS, e conseqüentemente, é obtido um valor intermediário entre a média aritmética e a média geométrica.

Embora tenham sido apresentados vários métodos que podem ser utilizados para a estruturação de problemas, a aplicação piloto realizada se limitou à utilização do *Value Focused Thinking* para definir os objetivos, critérios e alternativas do problema abordado

na organização. Entretanto, outros métodos podem ser utilizados em conjunto para possibilitar uma ampla elucidação das necessidades do problema.

Para avaliar a efetividade do algoritmo genético proposto neste estudo para buscar o consenso entre os tomadores de decisão, um algoritmo de otimização por enxame de partículas foi implementado. Dessa forma, o presente estudo limitou a comparação dos resultados entre o AG proposto, o PSO implementado e a agregação de julgamentos. Portanto, outros algoritmos evolutivos também podem ser implementados para possibilitar outras comparações entre os resultados.

Apesar dos testes computacionais e da análise de sensibilidade realizados no estudo, não foram obtidas avaliações sobre os resultados alcançados pela organização em que se realizou a aplicação piloto. Dessa forma, uma limitação do estudo é a não avaliação da adequação do modelo às expectativas dos tomadores de decisão que trabalham na organização. Além disso, os tomadores de decisão envolvidos na aplicação piloto foram definidos à priori pela própria organização, não sendo possível avaliar a representatividade do grupo para o problema abordado. Entretanto, pode-se afirmar que o estudo apresentado tem validade externa desde que foi desenvolvido para ser aplicado a múltiplos contextos de tomada de decisão em grupo. Isto é apoiado pelo fato de que um modelo único de tomada de decisão é proposto, com o objetivo de se adaptar à diferentes circunstâncias do mundo real (ROBERTS *et al.*, 2006). Além disso, o estudo tem validade interna devido sua validação de conteúdo, ou seja, uma vez que oferece uma aplicação no mundo real com pessoas que são comparáveis aos participantes de possíveis aplicações futuras (ROBERTS *et al.*, 2006).

O modelo de tomada de decisão proposto neste estudo pode ser facilmente aplicado em diferentes problemas de diferentes contextos que necessitam lidar tanto com o consenso quanto com a agregação de julgamentos. Entretanto, a aplicação piloto apresentada nesse estudo ficou delimitada para o contexto de seleção de projetos sustentáveis em uma única organização de um setor específico. Conseqüentemente, a técnica multicritério aplicada ao problema (PROMETHEE V) foi selecionada para lidar com as características específicas do problema. Porém, ressalta-se que outras técnicas multicritério e modelos matemáticos podem ser aplicados na fase de seleção das alternativas, dependendo dos objetivos e das características dos critérios analisados.

A aplicação do modelo de tomada de decisão proposto neste estudo foi realizada integralmente de forma remota, devido à pandemia do COVID 19. Desta forma, o principal desafio deste estudo foi o de encontrar uma organização disposta a participar do estudo. Além disso, também foi um desafio conseguir coletar as informações e manter a comunicação com a organização em que foi realizada a aplicação piloto.

Outro desafio presente no estudo foi o de conseguir avaliar a efetividade do algoritmo genético proposto. Como não haviam outros estudos similares na literatura, um algoritmo PSO foi implementado para possibilitar essa comparação e avaliação.

7.3. OPORTUNIDADES DE ESTUDOS FUTUROS

Com base no desenvolvimento desta Tese, foi possível identificar oportunidades de estudos futuros. A seguir são apresentadas sugestões de trabalhos que podem contribuir para o avanço do conhecimento sobre o tema abordado.

Na aplicação de métodos de estruturação de problemas podem ocorrer divergências de opiniões que podem depender de argumentações entre os tomadores de decisão para chegar no consenso. Dessa forma, uma oportunidade de estudo futuro pode ser a implementação de um método sistemático para avaliar a divergência e buscar o consenso matemático agregado já na aplicação dos PSMs.

No processo de consenso para definição dos pesos dos critérios e da importância dos tomadores de decisão, outros algoritmos heurísticos podem ser implementados, tais como: evolução diferencial; otimização da colônia de formigas; algoritmo de colônia de abelhas artificiais; pesquisa de cuco; entre outros. Além disso, outras medidas de distância entre os julgamentos podem ser utilizadas para avaliar o nível de consenso entre os tomadores de decisão. Por exemplo, a distância euclidiana normalizada poderia ser um indicador do nível de consenso entre os julgamentos individuais dos tomadores de decisão.

No presente estudo foi utilizado somente a técnica multicritério PROMETHEE V para selecionar o conjunto de alternativas. Entretanto, conforme indicado na revisão sobre a utilização da representação de informação DHFS, poucas técnicas multicritério foram combinadas com esta generalização *fuzzy*. Dessa forma, verifica-se a oportunidade de

propor a utilização de outras técnicas multicritérios em conjunto com o DHFS para outros problemas de tomada de decisão. Por exemplo, o ELECTRE TRI e o TOPSIS CLASS são exemplos de técnicas que poderiam ser combinadas com o DHFS para categorizar alternativas.

O modelo de tomada de decisão proposto nesta Tese é focado em situações em que as informações utilizadas são advindas de julgamentos subjetivos dos tomadores de decisão. Entretanto, para situações em que existam uma grande quantidade de dados disponíveis, métodos de aprendizagem de máquinas podem ser uma solução para subsidiar o processo de seleção e classificação de alternativas.

A aplicação piloto apresentada neste estudo envolveu apenas uma organização de um setor específico. Dessa forma, uma oportunidade de estudo futuro é a aplicação do modelo proposto em diferentes organizações de diferentes setores para poder verificar se o modelo de decisão atende as diferentes necessidades apresentadas nas organizações.

REFERÊNCIAS

- ABDELKADER, E. M.; MARZOUK, M.; ZAYED, T. An optimization-based methodology for the definition of amplitude thresholds of the ground penetrating radar. **Soft Computing**, v. 23, n. 22, p. 12063-12086, 2019.
- ABEL, E.; MIKHAILOV, L.; KEANE, J. Group aggregation of pairwise comparisons using multi-objective optimization. **Information Sciences**, v. 322, p. 257-275, 2015.
- ACKERMANN, F.; EDEN, C. Strategic options development and analysis. In: *Systems approaches to managing change: A practical guide*. Springer, London, 2010. p. 135-190.
- AGRAWAL, S.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. Triple bottom line performance evaluation of reverse logistics. **Competitiveness Review**, 2016.
- AHI, P.; SEARCY, C. An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 360-377, 2015.
- AHI, P.; SEARCY, C. A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. **Journal of cleaner production**, v. 52, p. 329-341, 2013.
- AHMAD, S.; OUENNICHE, J.; KOLOSZ, B. W.; GREENING, P.; ANDRESEN, J. M.; MAROTO-VALER, M. M.; XU, B. A stakeholders' participatory approach to multi-criteria assessment of sustainable aviation fuels production pathways. **International Journal of Production Economics**, v. 238, n. 108156, 2022.
- AHMADI CHOUKOLAEI, H., JAHANGOSHAI REZAEI, M., GHASEMI, P., SABERI, M. Efficient crisis management by selection and analysis of relief centers in disaster integrating GIS and multicriteria decision methods: a case study of Tehran. **Mathematical Problems in Engineering**, 2021.
- ALCANTUD, J. C. R.; SANTOS-GARCÍA, G.; PENG, X.; ZHAN, J. Dual extended hesitant fuzzy sets. **Symmetry**, v. 11, n. 5, p. 714, 2019.
- ALENCAR, M. H.; PRIORI, L. Jr.; ALENCAR, L. H. Structuring objectives based on value-focused thinking methodology: Creating alternatives for sustainability in the built environment. **Journal of Cleaner Production** v. 156, 2017.
- ALI, A.; ALI, M. I.; REHMAN, N. Soft dominance based rough sets with applications in information systems. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 113, p. 171-195, 2019.
- ALOINI, D.; DULMIN, R.; MININNO, V.; PELLEGRINI, L.; FARINA, G. Technology assessment with IF-TOPSIS: An application in the advanced underwater system sector. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 131, p. 38-48, 2018.
- ALSAWAFI, A.; LEMKE, F.; YANG, Y. The impacts of internal quality management relations on the triple bottom line: A dynamic capability perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 232, p. 107927, 2021.

ALSHARQAWI, M.; ZAYED, T.; PARVIZSEDGHY, L., SENOUCI, A.; AL-DERHAM, H. Reliability assessment model for water distribution networks. **Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice**, v. 11, n. 2, p. 04019059, 2020.

ALTUZARRA, A.; MORENO-JIMÉNEZ, J. M.; SALVADOR, M. Consensus building in AHP-group decision making: A Bayesian approach. **Operations research**, v. 58, n. 6, p. 1755-1773, 2010.

ÁLVAREZ CARRILLO, P. A.; LEYVA LÓPEZ, J. C.; SÁNCHEZ CASTAÑEDA, M. D. L. D. An Empirical Study of the Consequences of Coordination Modes on Supporting Multicriteria Group Decision Aid Methodologies. **Journal of Decision Systems**, v. 24, n. 4, p. 383, 2015.

ALVAREZ, P. A.; MORAIS, D. C.; LEYVA LÓPEZ, J. C.; DE ALMEIDA, A. T. An ELECTRE III based consensus-reaching process to improve a collective solution. **International Transactions in Operational Research**, 2020.

ALYAMANI, R.; LONG, S. The application of fuzzy Analytic Hierarchy Process in sustainable project selection. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8314, 2020.

ARORA, R.; GARG, H. A robust correlation coefficient measure of dual hesitant fuzzy soft sets and their application in decision making. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 72, p. 80-92, 2018.

ASIF, M.; SEARCY, C. A composite index for measuring performance in higher education institutions. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2014.

BAG, S.; GUPTA, S.; KUMAR, S. Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. **International journal of production economics**, v. 231, p. 107844, 2021.

BAGHAPOUR, M. A.; SHOOSHTARIAN, M. R.; JAVAHERI, M. R.; DEGHANIFARD, S.; SEFIDKAR, R.; NOBANDEGANI, A. F. A computer-based approach for data analyzing in hospital's health-care waste management sector by developing an index using consensus-based fuzzy multi-criteria group decision-making models. **International journal of medical informatics**, v. 118, p. 5-15, 2018.

BANIHABIB, M. E.; CHITSAZ, N.; RANDHIR, T. O. Non-compensatory decision model for incorporating the sustainable development criteria in flood risk management plans. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2020.

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. Discrete-event system simulation: **Pearson new international edition. Pearson Higher Ed**, 2013.

BANSAL, S.; BISWAS, S.; SINGH, S. K. Fuzzy decision approach for selection of most suitable construction method of Green Buildings. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 6, n. 1, p. 122-132, 2017.

BASCETIN, A. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine. **Environmental Geology**, v. 52, n. 4, p. 663-672, 2007.

BASHIR, Z.; BASHIR, Y.; RASHID, T.; ALI, J.; GAO, W. A Novel Multi-Attribute Group Decision-Making Approach in the Framework of Proportional Dual Hesitant Fuzzy Sets. **Applied Sciences**, v. 9, n. 6, p. 1232, 2019.

BATTIROLA FILHO, J. C.; PIECHNICKI, F.; LOURES, E. D. F. R.; SANTOS, E. A. P. Process-aware FMEA framework for failure analysis in maintenance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2017.

BAYRAKTAR, S.; GUPTA, K. Multi-criteria decision making through soft computing and evolutionary techniques. **In: Intelligent Manufacturing. Springer, Cham**, 2021. p. 123-147.

BERNARDO, H.; GASPAR, A.; HENGGELER A., C.. A combined value focused thinking-soft systems methodology approach to structure decision support for energy performance assessment of school buildings. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2295, 2018.

BEN-ARIEH, D.; CHEN, Z. Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 36, n. 3, p. 558-568, 2006.

BEN-ELI, M. U. Sustainability: definition and five core principles, a systems perspective. **Sustainability Science**, v. 13, n. 5, p. 1337-1343, 2018.

BEN-ARIEH, D.; EASTON, T. Multi-criteria group consensus under linear cost opinion elasticity. **Decision support systems**, v. 43, n. 3, p. 713-721, 2007.

BERG, A.; ANTIKAINEN, R.; HARTIKAINEN, E.; KAUPPI, S.; KAUTTO, P.; LAZAREVIC, D.; SAIKKU, L. **Circular Economy for Sustainable Development**, 2018.

BERTASSINI, A. C., CALACHE, L. D. D. R., CARPINETTI, L. C. R., OMETTO, A. R., & GEROLAMO, M. C. CE-oriented culture readiness: An assessment approach based on maturity models and fuzzy set theories. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 615-629, 2022.

BERTASSINI, A. C.; CALACHE, L. D. D. R.; CARPINETTI, L. C. R.; OMETTO, A. R.; GEROLAMO, M. C. CE-oriented culture readiness: An assessment approach based on maturity models and fuzzy set theories. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 615-629, 2022.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation. In Research methods for operations management. **Routledge**, p. 306-346, 2016.

BEYNON, M. J. The role of the DS/AHP in identifying inter-group alliances and majority rule within group decision making. **Group decision and negotiation**, v. 15, n. 1, p. 21-42, 2006.

BEZERRA, M. C. D. C.; GOHR, C. F.; MORIOKA, S. N. Organizational capabilities towards corporate sustainability benefits: A systematic literature review and an integrative framework proposal. **Journal of Cleaner Production**, v. 247, 2020.

BHARDWAJ, B. R. Role of green policy on sustainable supply chain management. **Benchmarking: An International Journal**, 2016.

BHARDWAJ, B. R. Sustainable supply chain management through enterprise resource planning (ERP)*: A model of sustainable computing. **In: 2014 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)**. IEEE, 2014. p. 166-171.

BIAJOLI, F. L.; CHAVES, A. A.; LORENA, L. A. N. A biased random-key genetic algorithm for the two-stage capacitated facility location problem. **Expert Systems with Applications**, v. 115, p. 418-426, 2019.

BILOSLAVO, R.; DOLINSEK, S. Scenario planning for climate strategies development by integrating group Delphi, AHP and dynamic fuzzy cognitive maps. **In: PICMET'08-2008 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology**. IEEE, 2008. p. 1103-1111.

BILOSLAVO, R.; GREBENC, A. Integrating group Delphi, analytic hierarchy process and dynamic fuzzy cognitive maps for a climate warning scenario. **Kybernetes**, 2012.

BLAGOJEVIC, B.; SRDJEVIC, Z.; BEZDAN, A.; SRDJEVIC, B. Group decision-making in land evaluation for irrigation: a case study from Serbia. **Journal of Hydroinformatics**, v. 18, n. 3, p. 579-598, 2016.

BORAN, F. E.; GENÇ, S.; KURT, M.; AKAY, D. A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 8, p. 11363-11368, 2009.

BORDOGNA, G.; FEDRIZZI, M.; PASI, G. A linguistic modeling of consensus in group decision making based on OWA operators. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 27, n. 1, p. 126-133, 1997.

BOUTKHOUM, O.; HANINE, M.; BOUKHRISS, H.; AGOUTI, T.; TIKNIOUINE, A. Multi-criteria decision support framework for sustainable implementation of effective green supply chain management practices. **SpringerPlus**, v. 5, n. 1, p. 664, 2016.

BRANS, J. P., DE SMET, Y. PROMETHEE methods. In *Multiple criteria decision analysis* (pp. 187-219). **Springer**, New York, NY, 2016.

BREGAR, A. Investigation of the aggregation-disaggregation approach to multi-criteria negotiations: Consolidation of simulation and case studies. **In: Proceedings of the 11th International Symposium on Operational Research in Slovenia–SOR**. 2011. p. 117-124.

BREGAR, A. Application of a hybrid Delphi and aggregation–disaggregation procedure for group decision-making. **EURO Journal on Decision Processes**, v. 7, n. 1-2, p. 3-32, 2019.

BREGAR, A.; GYÖRKÖS, J.; JURIČ, M. B. Interactive aggregation/disaggregation dichotomic sorting procedure for group decision analysis based on the threshold model. **Informatica**, v. 19, n. 2, p. 161-190, 2008.

BÜYÜKÖZKAN, G. Multi-criteria decision making for e-marketplace selection. **Internet Research**, 2004.

BÜYÜKÖZKAN, G.; GÜLERYÜZ, S. Multi criteria group decision making approach for smart phone selection using intuitionistic fuzzy TOPSIS. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 9, n. 4, p. 709-725, 2016.

BÜYÜKÖZKAN, G.; GÜLERYÜZ, S.; KARPAK, B. A new combined IF-DEMATEL and IF-ANP approach for CRM partner evaluation. **International Journal of Production Economics**, v. 191, p. 194-206, 2017.

CAI, X.; LASDON, L.; MICHELSEN, A. M. Group decision making in water resources planning using multiple objective analysis. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 130, n. 1, p. 4-14, 2004.

CAIRNS, G.; GOODWIN, P.; WRIGHT, G. A decision-analysis-based framework for analysing stakeholder behaviour in scenario planning. **European Journal of Operational Research**, v. 249, n. 3, p. 1050-1062, 2016.

ÇAKIR, S. Selecting the best supplier at a steel-producing company under fuzzy environment. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 88, n. 5-8, p. 1345-1361, 2017.

ÇAKIR, S. An integrated approach to machine selection problem using fuzzy SMART-fuzzy weighted axiomatic design. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 29, n. 7, p. 1433-1445, 2018.

CALABRESE, A.; COSTA, R.; LEVIALDI, N.; MENICHINI, T. Integrating sustainability into strategic decision-making: A fuzzy AHP method for the selection of relevant sustainability issues. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 139, p. 155-168, 2019.

CALACHE, L. D. D. R.; ARANTES, R. F. M.; ZANON, L. G., OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. A literature review of dual hesitant fuzzy sets. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 10972-10988, 2021 a.

CALACHE, L. D. D. R.; CAMARGO, V. C. B.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. A genetic algorithm based on dual hesitant fuzzy preference relations for consensus group decision making. **Applied Soft Computing**, v. 121, p. 108778, 2022.

CALACHE, L. D. D. R.; GALO, N. R.; CARPINETTI, L. C. R. A comparison between intuitionistic and hesitant fuzzy applied to supplier selection group decision-making problems. **International Journal of Applied Decision Sciences**, v. 14, n. 3, p. 231-273, 2021.

CALACHE, L. D. D. R.; ZANON, L. G.; ARANTES, R. F. M.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. Risk prioritization based on the combination of FMEA and dual hesitant fuzzy sets method. **Production**, v. 31, 2021 b.

CALACHE, L. D. D. R.; ZANON, L. G.; FEITOSA, I. S. C. D. S.; ARANTES, R. F. M.; CARPINETTI, L. C. R. Multicriteria techniques for consensus in group decision making:

a literature review. **International Journal of Applied Decision Sciences**, v. 14, n. 6, p. 661-688, 2021 c.

CALLEJAS, E. A.; CERRADA, J. A.; CERRADA, C.; CABRERIZO, F. J. Group decision making based on a framework of granular computing for multi-criteria and linguistic contexts. **IEEE Access**, v. 7, p. 54670-54681, 2019.

CAMBRAINHA, G. M.; FONTANA, M. E. A multi-criteria decision making approach to balance water supply-demand strategies in water supply systems. **Production**, v. 28, 2018.

CAMCI, A.; TEMUR, G. T.; BESKESE, A. CNC router selection for SMEs in woodwork manufacturing using hesitant fuzzy AHP method. **Journal of Enterprise Information Management**, 2018.

CAN, G. F.; DEMIROK, S. Universal usability evaluation by using an integrated fuzzy multi criteria decision making approach. **International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics**, 2019.

CARINO, S.; PORTER, J.; MALEKPOUR, S.; COLLINS, J. Environmental sustainability of hospital foodservices across the food supply chain: a systematic review. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 120, n. 5, p. 825-873, 2020.

CARLI, R.; DOTOLI, M.; DIGIESI, S.; FACCHINI, F.; MOSSA, G. Sustainable scheduling of material handling activities in labor-intensive warehouses: A decision and control model. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3111, 2020.

CARNEIRO, J.; MARTINHO, D.; MARREIROS, G.; NOVAIS, P. Arguing with behavior influence: a model for web-based group decision support systems. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 18, n. 02, p. 517-553, 2019.

CAROLINA, P. M.; MONTOYA-TORRES, J. R.; HALABI, A. X.; GUTIERREZ-FRANCO, E.; ALDAZ, J. J. On the analysis of strategic and operational issues of reverse logistics practices in Colombia: presentation of some case studies. **In: 2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering. IEEE**, 2009. p. 969-972.

CARRILLO, P. A. A.; LÓPEZ, J. C. L. Intercriteria parameter modification to reach consensus in the evaluation of commercial locations. **In: 2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). IEEE**, 2016. p. 1044-1050.

CELIK, E.; ERDOGAN, M.; GUMUS, A. T. An extended fuzzy TOPSIS-GRA method based on different separation measures for green logistics service provider selection. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v 13, n. 5, p. 1377-1392, 2016.

CENTOBELLI, P; CERCHIONE, R; ESPOSITO, E. Evaluating environmental sustainability strategies in freight transport and logistics industry. **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 3, p. 1563-1574, 2020.

CHAMBAL, S. P., WEIR, J. D., KAHRAMAN, Y. R., GUTMAN, A. J. A practical procedure for customizable one-way sensitivity analysis in additive value models. **Decision Analysis**, v. 8, n. 4, p. 303-321, 2011.

CHANG, C.; CHIANG, D. M.; PAI, F. Cooperative strategy in supply chain networks. **Industrial Marketing Management**, v. 41, n. 7, p. 1114-1124, 2012.

CHANG, B.; HUNG, H.. A study of using RST to create the supplier selection model and decision-making rules. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 12, p. 8284-8295, 2010.

CHAVES, A. A. LORENA, L. A. N.; SENNE, E. L. F. RESENDE, M. G. D. Hybrid method with CS and BRKGA applied to the minimization of tool switches problem. **Computers & Operations Research**, v. 67, p. 174-183, 2016.

CHECKLAND, P. B. Towards a systems-based methodology for real-world problem solving. **Journal of systems engineering**, v. 3, n. 2, p. 87-116, 1972.

CHEN, H., XU, G.; YANG, P. Multi-Attribute Decision-Making Approach Based on Dual Hesitant Fuzzy Information Measures and Their Applications. **Mathematics**, v. 7, n. 9, p. 786, 2019.

CHEN, J.; HUANG, X. Dual hesitant fuzzy probability. **Symmetry**, v. 9, n. 4, p. 52, 2017.

CHEN, J.; HUANG, X.; TANG, J. Distance measures for higher order dual hesitant fuzzy sets. **Computational and Applied Mathematics**, v. 37, n. 2, p. 1784-1806, 2018.

CHEN, S.; BAI, Z. Y. Similarity Measure Based on Distance of Dual Hesitant Fuzzy Sets and Its Application in Image Feature Comparison and Recognition. **The Open Automation and Control Systems Journal**, v. 6, n. 1, 2014.

CHEN, T. Y. Multiple criteria group decision-making with generalized interval-valued fuzzy numbers based on signed distances and incomplete weights. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, n. 7, p. 3029-3052, 2012

CHEN, T. Y. An interactive signed distance approach for multiple criteria group decision-making based on simple additive weighting method with incomplete preference information defined by interval type-2 fuzzy sets. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 13, n. 05, p. 979-1012, 2014.

CHEN, X.; YANG, L.; WANG, P.; YUE, W. A fuzzy multicriteria group decision-making method with new entropy of interval-valued intuitionistic fuzzy sets. **Journal of Applied Mathematics**, 2013.

CHEN, Y.; PENG, X.; GUAN, G.; JIANG, H. Approaches to multiple attribute decision making based on the correlation coefficient with dual hesitant fuzzy information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 26, n. 5, p. 2547-2556, 2014.

CHEN, Y. W.; WANG, L. C.; WANG, A.; CHEN, T. L. A particle swarm approach for optimizing a multi-stage closed loop supply chain for the solar cell industry. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 43, p. 111-123, 2017.

CHEN, Y.; HE, L.; ZHAO, H.; LI, J. Energy-environmental implications of shale gas extraction with considering a stochastic decentralized structure. **Fuel**, v. 230, p. 226-243, 2018.

CHEN, Z. S.; MARTÍNEZ, L.; CHANG, J. P.; WANG, X. J.; XIONGE, S. H.; CHIN, K. S. Sustainable building material selection: A QFD-and ELECTRE III-embedded hybrid MCGDM approach with consensus building. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 85, p. 783-807, 2019.

CHOUDHURY, A. K.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. Consensus-based intelligent group decision-making model for the selection of advanced technology. **Decision Support Systems**, v. 42, n. 3, p. 1776-1799, 2006.

CIARAPICA, F. E.; DESANCTIS, I.; FANI, V., RESTA, B.; BANDINELLI, R.; DOTTI, S.; RINALDI, R. Practices for environmental sustainability in the Italian Textile Clothing and Leather sector: preliminary results. In: XX Summer School" Francesco Turco"-**Industrial Systems Engineering**. 2015. p. 257-264.

CID-LÓPEZ, A., HORNOS, M. J., & HERRERA-VIEDMA, E. A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective. **Applied Soft Computing**, v. 37, p. 897-910, 2015.

CHAI, J.; LIU, J. N. K.; NGAI, E. W.T. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 10, p. 3872-3885, 2013.

CHAI, J. Y.; NGAI, E. W. T. Multi-perspective strategic supplier selection in uncertain environments. **International Journal of Production Economics**, v. 166, n. especial SI, p. 215-225, 2015.

CHECKLAND, Peter B. Towards a systems-based methodology for real-world problem solving. **Journal of systems engineering**, v. 3, n. 2, p. 87-116, 1972.

CHRISTENSEN, A.; ARRINGTON, A. Research issues and strategies. In: Family interaction and psychopathology. **Springer**, Boston, MA, p. 259-296, 1987.

CIARAPICA, F. E.; DESANCTIS, I.; FANI, V.; RESTA, B.; BANDINELLI, R.; DOTTI, S.; RINALDI, R. Practices for environmental sustainability in the Italian Textile Clothing and Leather sector: preliminary results. In **XX Summer School Francesco Turco—Industrial Systems Engineering**, pp. 257-264, 2015.

COLSON, G.; MARESCHAL, B. JUDGES: a descriptive group decision support system for the ranking of items. **Decision Support Systems**, v. 12, n. 4-5, p. 391-404, 1994.

COX, A.; CHICKSAND, D.; PALMER, M. Stairways to heaven or treadmills to oblivion? **British Food Journal**, 2007.

COBOS-GUZMAN, S.; VERDÚ, E.; HERRERA-VIEDMA, E.; CRESPO, R. G. Fuzzy logic expert system for selecting robotic hands using kinematic parameters. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 11, n. 4, p. 1553-1564, 2020.

CUNHA, A. A. R.; MORAIS, D. C. Drawing up a national plan for public sanitation: a participatory group decision approach. In: **2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**. IEEE, p. 32-37, 2013.

- CUNHA, A; MORAIS, D. Problem structuring methods in group decision making: a comparative study of their application. **Operational Research**, v. 19, n. 4, p. 1081-1100, 2019.
- CUOGHI, K. G; LEONETI, A. B. A group MCDA method for aiding decision-making of complex problems in public sector: The case of Belo Monte Dam. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 68, p. 100625, 2019.
- DA SILVA, W. H.; GUARNIERI, P.; CARVALHO, J. M. Sustainable practices in the coffee supply chain in the cerrado mineiro region, Brazil. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v. 11, n. 2, p. 90-100, 2018.
- DALAL, J.; MOHAPATRA, P. KJ; MITRA, G. C. Prioritization of rural roads: AHP in group decision. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2010.
- DARBARI, J. D., AGARWAL, V., CHAUDHARY, K., & JHA, P. C. Multi-criteria decision approach for a sustainable reverse logistics network under fuzzy environment. In: 2015 **International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)**. IEEE, p. 1-7, 2015.
- DAVIES, M. A. (1994). A multicriteria decision model application for managing group decisions. **Journal of the Operational Research Society**, 45(1), 47-58.
- DE ALMEIDA, A. T.; DE ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 179-191, 2016.
- DE ALMEIDA, A. T.; MORAIS, D. C.; COSTA, A. P. C. S.; ALENCAR, L. H.; DAHER, S. F. D. **Decisão em Grupo e Negociação: Métodos e Aplicações**. Ed. Atlas, São Paulo, 2012.
- DELL'OVO, Marta et al. FITradeoff Method for the Location of Healthcare Facilities Based on Multiple Stakeholders' Preferences. In: **International Conference on Group Decision and Negotiation**. Springer, Cham, 2018. p. 97-112.
- DE LOS RIOS, I. C.; CHARNLEY, F. JS. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. **Journal of Cleaner Production**, v. 160, p. 109-122, 2017.
- DE MORAIS BEZERRA, F., MELO, P.; COSTA, J. P. Reaching consensus with VICA-ELECTRE TRI: a case study. **Group Decision and Negotiation**, v. 26, n. 6, p. 1145-1171, 2017.
- DEEPA, V.; SUNIL, J. J. Dual hesitant fuzzy subrings and ideals. **Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics**, v. 133, p. 437-448, 2017.
- DHIB, S.; ADDOUCHE, S. A.; EL MHAMDI, A.; LOUKIL, T. Performance Study for a Sustainable Strategy: Case of Electrical and Electronic Equipments Waste. In: **IFIP International Conference on Product Lifecycle Management**. Springer, Cham, p. 572-587, 2015.

DIAS, L. C.; CLÍMACO, J. N. Dealing with imprecise information in group multicriteria decisions: a methodology and a GDSS architecture. **European Journal of Operational Research**, v. 160, n. 2, p. 291-307, 2005.

DIEGO-MAS, J. A.; ASENSIO-CUESTA, S., SANCHEZ-ROMERO, M. A.; ARTACHO-RAMIREZ, M. A. A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules. **International journal of industrial ergonomics**, v. 39, n. 1, p. 23-33, 2009.

DIKMEN, I.; TALAT BIRGONUL, M.; OZORHON, B.; EGILMEZER SAPCI, N. Using analytic network process to assess business failure risks of construction firms. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2010.

DONG, Y.; ZHAO, S., ZHANG, H.; CHICLANA, F.; HERRERA-VIDEAMA, E. A self-management mechanism for noncooperative behaviors in large-scale group consensus reaching processes. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 26, n. 6, p. 3276-3288, 2018.

DRAGINČIĆ, J.; VRANEŠEVIĆ, M. AHP-based group decision making approach to supplier selection of irrigation equipment. **Water resources**, v. 41, n. 6, p. 782-791, 2014.

DRESNER, Simon. The principles of sustainability. **Earthscan**, 2008.

DRIOUCHI, T.; LESEURE, M.; BENNETT, D. A robustness framework for monitoring real options under uncertainty. **Omega**, v. 37, n. 3, p. 698-710, 2009.

DRISKO, J. W.; MASCHI, T. Content analysis. **Pocket Guide to Social Work Re**, 2016.

DUCASSÉ, M.; CELLIER, P. Fair and fast convergence on islands of agreement in multicriteria group decision making by logical navigation. **Group Decision and Negotiation**, v. 23, n. 4, p. 673-694, 2014.

DYER, R. F.; FORMAN, E. H. Group decision support with the analytic hierarchy process. **Decision support systems**, v. 8, n. 2, p. 99-124, 1992.

EBRAHIMNEJAD, S.; HASHEMI, H.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B. A new interval-valued intuitionistic fuzzy model to group decision making for the selection of outsourcing providers. **Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research**, v. 49, n. 2, 2015.

EDEN, C. Cognitive mapping. **European Journal of Operational Research**, v. 36, n. 1, p. 1-13, 1988.

EDEN, C.; ACKERMANN, F. Where next for problem structuring methods. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n. 7, p. 766-768, 2006.

EHRGOTT, Matthias; GANDIBLEUX, Xavier. Hybrid metaheuristics for multi-objective combinatorial optimization. In: Hybrid metaheuristics. **Springer**, Berlin, Heidelberg, 2008. p. 221-259.

EKEL, P; QUEIROZ, J; PARREIRAS, R.; PALHARES, R. Fuzzy set based models and methods of multicriteria group decision making. **Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications**, v. 71, n. 12, p. e409-e419, 2009.

ELKINGTON, J. Cannibals with forks: the triple bottom line of twenty-first century business. **Capstone**. 1997.

ELZARKA, H. M.; YAN, H.; CHAKRABORTY, D. A vague set fuzzy multi-attribute group decision-making model for selecting onsite renewable energy technologies for institutional owners of constructed facilities. **Sustainable cities and society**, v. 35, p. 430-439, 2017.

EMMERICH, M.; DEUTZ, A.; LI, L., MAULANA, A.; YEVSEYEVA, I. Maximizing Consensus in Portfolio Selection in Multicriteria Group Decision Making. **Procedia Computer Science**, v. 100, p. 848-855, 2016.

ENYINDA, C. I.; OGBUEHI, A. O.; MBAH, C. H. Building pharmaceutical relationship marketing and social media impact. **International Journal of pharmaceutical and healthcare marketing**, 2018.

ERDOGAN, S. A.; ŠAPARAUSKAS, J.; TURSKIS, Z. A Multi-Criteria Decision-Making Model to Choose the Best Option for Sustainable Construction Management. **Sustainability**, v. 11, n. 8, p. 2239, 2019.

ESKAFI, M.; FAZELI, R., DASTGHEIB, A.; TANEJA, P.; ULFARSSON, G. F.; THORARINSDOTTIR, R. I.; STEFANSSON, G. A value-based definition of success in adaptive port planning: a case study of the Port of Isafjordur in Iceland. **Maritime Economics & Logistics**, p. 1-29, 2019.

FAIZI, S.; RASHID, T.; ZAFAR, S. An outranking method for multi-criteria group decision making using hesitant intuitionistic fuzzy linguistic term sets. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 32, n. 3, p. 2153-2164, 2017.

FALLAHPOUR, A.; WONG, K. Y.; RAJOO, S.; OLUGU, E. U.; NILASHI, M.; TURSKIS, Z. A fuzzy decision support system for sustainable construction project selection: an integrated FPP-FIS model. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 26, n. 3, p. 247-258, 2020.

FARHADINIA, B. Correlation for dual hesitant fuzzy sets and dual interval-valued hesitant fuzzy sets. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 29, n. 2, p. 184-205, 2014.

FARHADINIA, B. Study on division and subtraction operations for hesitant fuzzy sets, interval-valued hesitant fuzzy sets and typical dual hesitant fuzzy sets. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 28, n. 3, p. 1393-1402, 2015.

FENG, Feng. Soft rough sets applied to multicriteria group decision making. **Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics**, v. 2, n. 1, p. 69-80, 2011.

FERCOQ, A; LAMOURI, S; CARBONE, V. Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. **Journal of Cleaner production**, v. 137, p. 567-578, 2016.

FERNANDEZ, E.; BERNAL, S.; NAVARRO, J.; OLMEDO, R. An outranking-based fuzzy logic model for collaborative group preferences. **top**, v. 18, n. 2, p. 444-464, 2010.

FERRETTI, V. From stakeholders analysis to cognitive mapping and Multi-Attribute Value Theory: An integrated approach for policy support. **European Journal of Operational Research**, v. 253, n. 2, p. 524-541, 2016.

FISHER, M. L. What is the right supply chain for your product?. **Harvard business review**, v. 75, p. 105-117, 1997.

FIKSEL, J.; MCDANIEL, J.; MENDENHALL, C. Measuring progress towards sustainability principles, process, and best practices. Ohio: **Battelle Memorial Institute**, 1999.

FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. Group Decision Model to support the survey of alternatives applied for participatory democracy. **In: 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. IEEE**, 2013. p. 62-67.

FORMENTINI, M.; TATICCHI, P. Corporate sustainability approaches and governance mechanisms in sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 1920-1933, 2016.

FRANCO, L. A.; ROUWETTE, E. AJA; KORZILIUS, H. Different paths to consensus? The impact of need for closure on model-supported group conflict management. **European Journal of Operational Research**, v. 249, n. 3, p. 878-889, 2016.

FRESNER, J.; ENGELHARDT, G. Experiences with integrated management systems for two small companies in Austria. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 6, p. 623-631, 2004.

FREJ, Eduarda Asfora; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. A Group Decision-Making Model for Supplier Selection: The Case of a Colombian Agricultural Research Company. **Decision Support Systems VIII: Sustainable Data-Driven and Evidence-Based Decision Support**, p. 132, 2018.

FRIEND, J. New directions in software for strategic choice. **European Journal of Operational Research**, v. 61, n. 1-2, p. 154-164, 1992.

FRIEND, J.; HICKLING, A. Planning Under Pressure: The Strategic Choice Approach. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 15, n. 4, p. 349-357, 1998.

FRINI, A.; BENAMOR, S. A TOPSIS multi-criteria multi-period approach for selecting projects in sustainable development context. **In: 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM). IEEE**, 2015. p. 1-9, 2015.

FU, C.; CHANG, W.; YANG, S. Multiple criteria group decision making based on group satisfaction. **Information Sciences**, 2020.

GALO, N. R; CALACHE, L. D. D. R; CARPINETTI, L. C. R. A group decision approach for supplier categorization based on hesitant fuzzy and ELECTRE TRI. **International Journal of Production Economics**, v. 202, p. 182-196, 2018.

GAGATSI, E.; GIANNOPOULOS, G.; AIFANTOPOULOU, G.; CHARALAMPOUS, G. Stakeholders-based multi-criteria policy analysis in maritime transport: from theory to practice. **Transportation research procedia**, v. 22, p. 655-664, 2017.

GARCÍA-LAPRESTA, José Luis; DEL POZO, Raquel González. An ordinal multi-criteria decision-making procedure under imprecise linguistic assessments. **European Journal of Operational Research**, v. 279, n. 1, p. 159-167, 2019.

GARG, H.; ARORA, R. Distance and similarity measures for dual hesitant fuzzy soft sets and their applications in multicriteria decision making problem. **International Journal for Uncertainty Quantification**, v. 7, n. 3, 2017.

GARG, H.; ARORA, R. Dual hesitant fuzzy soft aggregation operators and their application in decision-making. **Cognitive Computation**, v. 10, n. 5, p. 769-789, 2018.

GARG, H.; ARORA, R. Maclaurin symmetric mean aggregation operators based on t-norm operations for the dual hesitant fuzzy soft set. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 11, n. 1, p. 375-410, 2020.

GARG, H.; KAUR, G. A robust correlation coefficient for probabilistic dual hesitant fuzzy sets and its applications. **Neural Computing and Applications**, p. 1-20, 2019.

GARG, H.; KAUR, G. Quantifying gesture information in brain hemorrhage patients using probabilistic dual hesitant fuzzy sets with unknown probability information. **Computers & Industrial Engineering**, v. 140, p. 106211, 2020.

GARG, R.; RAHMAN, Z.; QURESHI, M. N.; KUMAR, I. Identifying and ranking critical success factors of customer experience in banks. **Journal of Modelling in management**, 2012.

GEDAM, V. V., RAUT, R. D., DE SOUSA JABBOUR, A. B. L., AGRAWAL, N. Moving the circular economy forward in the mining industry: Challenges to closed-loop in an emerging economy. **Resources Policy**, 74, 102279, 2021.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M.; HULTINK, E. J. The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, v. 143, n. 757-768, 2017.

GHANNADPOUR, S. F.; HOSEINI, A. R.; BAGHERPOUR, M.; AHMADI, E. Appraising the triple bottom line utility of sustainable project portfolio selection using a novel multi-criteria house of portfolio. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-42, 2020.

GHAVAMI, S. M.; MALEKI, J.; ARENTZE, T. A multi-agent assisted approach for spatial Group Decision Support Systems: A case study of disaster management practice. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 38, p. 101223, 2019.

GHORABAEI, K. M., AMIRI, M., ZAVADSKAS, E. K.; ANTUCHEVICIENE, J. Supplier evaluation and selection in fuzzy environments: a review of MADM approaches. **Economic research-Ekonomska istraživanja**, v. 30, n. 1, p. 1073-1118, 2017.

GIANNAKIS, M.; PAPADOPOULOS, T. Supply chain sustainability: A risk management approach. **International Journal of Production Economics**, v. 171, p. 455-470, 2016.

GITINAVARD, H.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B. A new multi-criteria weighting and ranking model for group decision-making analysis based on interval-valued hesitant fuzzy sets to selection problems. **Neural Computing and Applications**, v. 27, n. 6, p. 1593-1605, 2016.

GITINAVARD, H.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B. Soft computing-based new interval-valued hesitant fuzzy multi-criteria group assessment method with last aggregation to industrial decision problems. **Soft Computing**, v. 21, n. 12, p. 3247-3265, 2017.

GONÇALVES, J. F.; RESENDE, M. G. C. Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization. **Journal of Heuristics**, v. 17, n. 5, p. 487-525, 2011.

GONG, K.; CHEN, C. Multiple-attribute decision making based on equivalence consistency under probabilistic linguistic dual hesitant fuzzy environment. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 85, p. 393-401, 2019.

GONG, Z.; XU, X.; FORREST, J.; YANG, Y. An optimization model of the acceptable consensus and its economic significance. **Kybernetes**, 2016.

GONG, Z.; XU, X.; ZHANG, H.; OZTURK, U. A.; HERRERA-VIEDMA, E.; XU, C. The consensus models with interval preference opinions and their economic interpretation. **Omega**, v. 55, p. 81-90, 2015.

GONZALEZ-FELIU, J.; MORANA, J. Assessing urban logistics pooling sustainability via a hierarchic dashboard from a group decision perspective. **Sustainable Logistics**, v. 6, p. 113-135, 2014.

GONZÁLEZ-PACHÓN, J.; ROMERO, C. Distance-based consensus methods: a goal programming approach. **Omega**, v. 27, n. 3, p. 341-347, 1999.

GOVINDAN, K.; SIVAKUMAR, R. Green supplier selection and order allocation in a low-carbon paper industry: integrated multi-criteria heterogeneous decision-making and multi-objective linear programming approaches. **Annals of Operations Research**, v. 238, n. 1-2, p. 243-276, 2016.

GREER, R., VON WIRTH, T., & LOORBACH, D. The diffusion of circular services: Transforming the Dutch catering sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 267, p. 121906, 2020.

GUARINI, M. R.; MORANO, P.; SICA, F. Historical School Buildings. A Multi-Criteria Approach for Urban Sustainable Projects. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 1076, 2020.

GUARNIERI, P.; E SILVA, L. C.; LEVINO, N. A. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 1105-1117, 2016.

GUERSOLA, M; LIMA, E. P. D; STEINER, M. T. A. Supply chain performance measurement: a systematic literature review. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 31, n. 1, p. 109-131, 2018.

- GUPTA, R.; SACHDEVA, A.; BHARDWAJ, A. Selection of logistic service provider using fuzzy PROMETHEE for a cement industry. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2012.
- GUPTA, S. K.; ROSENHEAD, J. Robustness in sequential investment decisions. **Management science**, v. 15, n. 2, p. B-18-B-29, 1968.
- HAGMANN, C.; UNGER, E. A. Fuzzy sets in multilevel decision making (a LAN small-group DSS). **Cybernetics and systems**, v. 21, n. 5, p. 547-571, 1990.
- HAHN, E. D. Judgmental consistency and consensus in stochastic multicriteria decision making. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 5, p. 3784-3791, 2010.
- HAJKOWICZ, S. A. Supporting multi-stakeholder environmental decisions. **Journal of environmental management**, v. 88, n. 4, p. 607-614, 2008.
- HALABI, A. X.; MONTOYA-TORRES, J. R.; OBREGÓN, N. A case study of group decision method for environmental foresight and water resources planning using a fuzzy approach. **Group Decision and Negotiation**, v. 21, n. 2, p. 205-232, 2012.
- HÄMÄLÄINEN, R.; KETTUNEN, E.; MARTTUNEN, M.; EHTAMO, H. Evaluating a framework for multi-stakeholder decision support in water resources management. **Group decision and negotiation**, v. 10, n. 4, p. 331-353, 2001.
- HAO, Y.; KEDIR, N. S.; SERESHT, N. G.; PEDRYCZ, W.; FAYEK, A. R. Consensus Building in Group Decision-Making for the Risk Assessment of Wind Farm Projects. In: **2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)**. IEEE, 2019. p. 1-7.
- HAO, Z.; XU, Z.; ZHAO, H.; SU, Z. Probabilistic dual hesitant fuzzy set and its application in risk evaluation. **Knowledge-Based Systems**, v. 127, p. 16-28, 2017.
- HARALAMBOPOULOS, D. A.; POLATIDIS, H. Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. **Renewable energy**, v. 28, n. 6, p. 961-973, 2003.
- HARRISON, E. Frank. A process perspective on strategic decision making. **Management decision**, 1996.
- HASSINI, E.; SURTI, C.; SEARCY, C. A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 1, p. 69-82, 2012.
- HE, Y.; XIONG, L.; ZHANG, H. Approximation reduction for multi-granulation dual hesitant fuzzy rough sets. **Journal of Computational Analysis and Applications**, p. 1187, 2018.
- HO, H. F. A novel fuzzy group decision making model for building an intelligent rating system. In: 2013 10th **International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)**. IEEE, 2013. p. 1110-1114.

HOLLAND, J. adaptation in natural and artificial systems, **university of michigan press, ann arbor**, v. 100, 1975.

HOW, B. S.; LAM, H. L. Integrated biomass supply chain in Malaysia: a sustainable strategy. **Chemical Engineering Transactions**, v. 61, p. 1573-1578, 2017.

HSU, P. F.; CHEN, B. Y. Integrated analytic hierarchy process and entropy to develop a durable goods chain store franchisee selection model. **Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics**, 2008.

HSU, T. H. Public transport system project evaluation using the analytic hierarchy process: a fuzzy Delphi approach. **Transportation Planning and Technology**, v. 22, n. 4, p. 229-246, 1999.

HU, Y.; WEN, J.; YAN, Y. Measuring the performance of knowledge resources using a value perspective: integrating BSC and ANP. **Journal of Knowledge Management**, 2015.

HU, Z. H.; LI, Q.; CHEN, X. J.; WANG, Y. F. Sustainable rent-based closed-loop supply chain for fashion products. **Sustainability**, v. 6, n. 10, p. 7063-7088, 2014.

HUANG, H. B.; CAI, L. N.; CAI, P. C. Dual hesitant fuzzy information aggregation in decision making. **In: Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications Ltd**, p. 854-859, 2013.

HUANG, L. P.; LI, J. J. Supplier selection using combined comparing interval grey numbers and dominance-based rough sets. **In: Advanced Materials Research. Trans Tech Publications**, p. 601-605, 2011

HUBBARD, G. Measuring organizational performance: beyond the triple bottom line. **Business strategy and the environment**, v. 18, n. 3, p. 177-191, 2009.

IGOULALENE, I.; BENYOUCEF, L. A hybrid approach combining fuzzy consensus and goal programming for information system selection. **Ifac Proceedings Volumes**, v. 46, n. 9, p. 1967-1972, 2013.

IGOULALENE, I.; BENYOUCEF, L. A hybrid approach combining fuzzy consensus-based possibility measure and TOPSIS: application to the plant selection problem. **In: 2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT). IEEE**, 2014. p. 286-291.

IGOULALENE, I.; BENYOUCEF, L. A hybrid approach combining fuzzy consensus-based goal programming and TOPSIS. **In: 2014 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). IEEE**, 2014. p. 087-092.

IGOULALENE, I.; BENYOUCEF, L.; TIWARI, M. K. Novel fuzzy hybrid multi-criteria group decision making approaches for the strategic supplier selection problem. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 7, p. 3342-3356, 2015.

ISHIZAKA, A.; LABIB, A. Selection of new production facilities with the Group Analytic Hierarchy Process Ordering method. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 6, p. 7317-7325, 2011.

JABEUR, K.; MARTEL, J. M. An ordinal sorting method for group decision-making. **European Journal of Operational Research**, v. 180, n. 3, p. 1272-1289, 2007.

JABBOUR, C. J. C.; SEURING, S., DE S.; JABBOUR, A. B. L., JUGEND, D.; FIORINI, P. D. C., LATAN, H.; IZEPI, W. C. Stakeholders, innovative business models for the circular economy and sustainable performance of firms in an emerging economy facing institutional voids. **Journal of environmental management**, v. 264, p. 110416, 2020.

JAIN, H. K.; RAMAMURTHY, K.; SUNDARAM, S. Effectiveness of visual interactive modeling in the context of multiple-criteria Group decisions. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 36, n. 2, p. 298-318, 2006.

JAMI POUR, M.; HOSSEINZADEH, M.; BAGHERZADEH AZAR, M.; TAHERI, F. Developing a new framework for evaluating e-learning systems: integrating BSC and FAHP. **Kybernetes**, 2017.

JAMIL, R. N.; RASHID, T. Application of dual hesitant fuzzy geometric Bonferroni mean operators in deciding an energy policy for the society. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2018, 2018.

JANA, J.; ROY, S. K. Dual hesitant fuzzy matrix games: based on new similarity measure. **Soft Computing**, v. 23, n. 18, p. 8873-8886, 2019.

JIN, L.; MESIAR, R.; QIAN, G. Weighting models to generate weights and capacities in multicriteria group decision making. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 26, n. 4, p. 2225-2236, 2017.

JOHN, H. genetic algorithms. **Scientific american**, v. 267, n. 1, p. 44-50, 1992.

JOKIC, M.; GRACANIN, D.; LALIC, B. Sustainable low cost and high-quality supply chain assurance-a systematic literature review. **Annals of DAAAM & Proceedings**, v. 30, 2019.

JU, Y. A new method for multiple criteria group decision making with incomplete weight information under linguistic environment. **Applied Mathematical Modelling**, v. 38, v. 21-22, p. 5256-5268, 2014.

JU, Y.; LIU, X.; YANG, S. Interval-valued dual hesitant fuzzy aggregation operators and their applications to multiple attribute decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 7, n. 3, p. 1203-1218, 2014

JU, Y.; YANG, S.; LIU, X. A novel method for multiattribute decision making with dual hesitant fuzzy triangular linguistic information. **Journal of Applied Mathematics**, 2014.

JU, Y.; YANG, S.; LIU, X. Some new dual hesitant fuzzy aggregation operators based on Choquet integral and their applications to multiple attribute decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 27, n. 6, p. 2857-2868, 2014.

JU, Y.; ZHANG, W.; YANG, S. Some dual hesitant fuzzy Hamacher aggregation operators and their applications to multiple attribute decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 27, n. 5, p. 2481-2495, 2014.

JU, Y.; YANG, S.; LIU, X. A novel method for multiattribute decision making with dual hesitant fuzzy triangular linguistic information. **Journal of Applied Mathematics**, v. 2014, 2014.

KACPRZYK, J.; ZADROZNY, S. A group decision support system based on linguistic multicriteria assessments. **In Technologies for Constructing Intelligent Systems 1**, p. 139-152, 2002.

KAMARI, A., JENSEN, S. R., CORRAO, R., KIRKEGAARD, P. H. A holistic multi-methodology for sustainable renovation. **International Journal of Strategic Property Management**, v. 23, n. 1, p. 50-64, 2019.

KAR, A. K. A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network. **Journal of Computational Science**, v. 6, p. 23-33, 2015.

KARA, S.; IBBOTSON, S.; KAYIS, B. Sustainable product development in practice: an international survey. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2014.

KATOCH, S., CHAUHAN, S. S., KUMAR, V. A review on genetic algorithm: past, present, and future. **Multimedia Tools and Applications**, 1-36, 2020.

KEENEY, R. Value-Focused Thinking. A path to creative decision making. **Cambridge: Harvard University Press**, 1992.

KEENEY, R. L. Value-focused thinking. **Harvard University Press**, 1996.

KEENEY, R. L.; GREGORY, R. S. Selecting attributes to measure the achievement of objectives. **Operations Research**, v. 53, n. 1, p. 1-11, 2005.

KEIVANPOUR, S.; HALEH, H.; GANJAVI, H. S. A Decision Model for Selecting the Optimum Oil Production Profile Using Multi Criteria Decision Making and Social Choice Theory. **In ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers**, 2014.

KHALILI-DAMGHANI, K.; SADI-NEZHAD, S.; LOTFI, F. H.; TAVANA, M. A hybrid fuzzy rule-based multi-criteria framework for sustainable project portfolio selection. **Information Sciences**, 220, 442-462, 2013.

KHAMENEH, A. Z.; KILIÇMAN, A.; SALLEH, A. R. An adjustable approach to multi-criteria group decision-making based on a preference relationship under fuzzy soft information. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 19, n. 6, p. 1840-1865, 2017.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular economy: the concept and its limitations. **Ecological economics**, v. 143, p. 37-46, 2018.

KOZA, J. R. Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection. **Modeling Adaptive Multi-Agent Systems Inspired by Developmental Biology**, v. 229, 1992.

KRISHANKUMAR, R.; RAVICHANDRAN, K. S.; AGGARWAL, M.; TYAGI, S. K. Extended hesitant fuzzy linguistic term set with fuzzy confidence for solving group decision-making problems. **Neural Computing and Applications**, p. 1-18, 2019.

KUBLER, S.; VOISIN, A.; DERIGENT, W.; THOMAS, A., RONDEAU, E.; FRÄMLING, K. Group fuzzy AHP approach to embed relevant data on “communicating material”. **Computers in Industry**, v. 65, n. 4, p. 675-692, 2014.

KUDRATOVA, S.; HUANG, X.; ZHOU, X. Sustainable project selection: Optimal project selection considering sustainability under reinvestment strategy. **Journal of Cleaner Production**, v. 203, p. 469-481, 2018.

KUDRATOVA, S., HUANG, X., KUDRATOV, K., QUDRATOV, S. Corporate sustainability and stakeholder value trade-offs in project selection through optimization modeling: Application of investment banking. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 27, n. 2, p. 815-824.

KUMAR KAR, A.; KUMAR PANI, A. How can a group of procurement experts select suppliers? An approach for group decision support. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 27, n. 4, p. 337-357, 2014.

KUMAR, A.; KAVIANI, M. A.; BOTTANI, E.; DASH, M. K.; ZAVADSKAS, E. K. Investigating the role of social media in polio prevention in India: a Delphi-DEMATEL approach. **Kybernetes**, v. 47, n. 5, p. 1053-1072, 2018.

KUMAR, Abhishek et al. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 596-609, 2017.

KUMAR, M.; HUSIAN, M. UPRETI, N.; GUPTA, D. Genetic algorithm: Review and application. **International Journal of Information Technology and Knowledge Management**, 2010.

KUSUMAWARDANI, R. P.; AGINTIARA, M. Application of fuzzy AHP-TOPSIS method for decision making in human resource manager selection process. **Procedia Computer Science**, v. 72, p. 638-646, 2015.

KWOK, R. C. W.; MA, J.; ZHOU, D. Improving group decision making: a fuzzy GSS approach. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)**, v. 32, n. 1, p. 54-63, 2002.

LABELLA, Á.; LIU, Y.; RODRÍGUEZ, R. M.; MARTÍNEZ, L. Analyzing the performance of classical consensus models in large scale group decision making: A comparative study. **Applied Soft Computing**, V. 67, P. 677-690, 2018.

LAU, R. Y.; TANG, M. WONG, O. MILINER, S. W. CHEN, Y. P. An evolutionary learning approach for adaptive negotiation agents. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 21, n. 1, p. 41-72, 2006.

LE PIRA, M.; INTURRI, G.; IGNACCOLO, M.; PLUCHINO, A. Analysis of AHP methods and the Pairwise Majority Rule (PMR) for collective preference rankings of

sustainable mobility solutions. **Transportation Research Procedia**, v. 10, p. 777-787, 2015.

LE PIRA, M.; INTURRI, G.; IGNACCOLO, M.; PLUCHINO, A. Modelling consensus building in Delphi practices for participated transport planning. **Transportation research procedia**, v. 25, p. 3725-3735, 2017.

LEE, G.; JUN, K. S.; CHUNG, E. S. Group decision-making approach for flood vulnerability identification using the fuzzy VIKOR method. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 15, n. 4, p. 863-874, 2015.

LEE, H. S. Optimal consensus of fuzzy opinions under group decision making environment. **Fuzzy sets and systems**, v. 132, n. 3, p. 303-315, 2002.

LEE, H.; NUNEZ, M.; CRUZ, J. Competition for limited critical resources and the adoption of environmentally sustainable strategies. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 3, p. 1130-1143, 2018.

LEFLEY, F. Can a project champion bias project selection and, if so, how can we avoid it?. **Management Research News**, v. 29, n. 4, p. 174-183, 2006.

LEYVA LÓPEZ, J. C.; ALVAREZ CARRILLO, P. A. Accentuating the rank positions in an agreement index with reference to a consensus order. **International Transactions in Operational Research**, v. 22, n. 6, p. 969-995, 2015.

LEYVA-LOPEZ, J. C.; FERNANDEZ-GONZALEZ, E. A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. **European Journal of Operational Research**, v. 148, n. 1, p. 14-27, 2003.

LI, B.; YANG, Y.; SU, J.; ZHANG, N.; WANG, S. Two-sided matching model for complex product manufacturing tasks based on dual hesitant fuzzy preference information. **Knowledge-Based Systems**, v. 186, p. 104989, 2019.

LI, J.; BUTLER-PURRY, K. L.; BENNER, C. L.; RUSSELL, B. D. Selecting a fuzzy aggregation operator for multicriteria fault location problem. **In IEEE PES Power Systems Conference and Exposition**, 2004. (pp. 1476-1482). IEEE, 2004.

LI, M.; ZHENG; Y. T., LIN, S. X.; ZHANG, Y. D.; CHUA, T. S. Multimedia evidence fusion for video concept detection via OWA operator. In International Conference on MultiMedia Modeling. **Springer, Berlin, Heidelberg**, p. 208-216, 2009.

LI, W.; ZHUANG, Y.; REN, Z. An extended TODIM method and its application in the stock selection under dual hesitant fuzzy linguistic information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, n. Preprint, p. 1-16, 2019.

Li, Y. M. An approach to evaluate the clothing creative design with dual hesitant fuzzy information. **Journal of Control Science and Engineering**, v. 11, 2014.

LI, Y.; WANG, J.; WANG, T. A linguistic neutrosophic multi-criteria group decision-making approach with EDAS method. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 44, n. 3, p. 2737-2749, 2019.

- Li, Z.; Zhao, S. A hybrid fuzzy multi-criteria group decision making and statistical method for scientific journal evaluation. **In 2014 Seventh International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization**, IEEE, p. 670-674, 2014.
- LI, Z.; LIECHTY, M., XU, J.; LEV, B. A fuzzy multi-criteria group decision making method for individual research output evaluation with maximum consensus. **Knowledge-Based Systems**, v. 56, p. 253-263, 2014.
- LI, Z.; XU, J.; LEV, B.; GANG, J. Multi-criteria group individual research output evaluation based on context-free grammar judgments with assessing attitude. **Omega**, v. 57, n. 282-293, 2015.
- LIANG, D.; DARKO, A. P.; XU, Z.; WANG, M. Aggregation of dual hesitant fuzzy heterogenous related information with extended Bonferroni mean and its application to MULTIMOORA. **Computers & Industrial Engineering**, v. 135, p. 156-176, 2019.
- LIANG, D.; WANG, M., XU, Z.; LIU, D. Risk appetite dual hesitant fuzzy three-way decisions with TODIM. **Information Sciences**, 507, 585-605, 2020.
- LIANG, D.; XU, Z.; LIU, D. Three-way decisions based on decision-theoretic rough sets with dual hesitant fuzzy information. **Information Sciences**, v. 396, p. 127-143, 2017.
- LIAO, H.; XU, Z. Subtraction and division operations over hesitant fuzzy sets. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 27, n. 1, p. 65-72, 2014.
- LIMA, A. S.; SOUZA, J. N.; MOURA, J. A. B.; DA SILVA, I. P. A consensus-based multicriteria group decision model for information technology management committees. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 65, n. 2, p. 276-292, 2018.
- LIN, C.; HSU, M. L. Holistic decision system for human resource capability identification. **Industrial Management & Data Systems**, v. 110, n. 2, p. 230-248, 2010.
- LIU, J. B.; MALIK, M. A.; AYUB, N.; SIDDIQUI, H. M. A. Distance Measures for Multiple-Attributes Decision-Making Based on Connection Numbers of Set Pair Analysis With Dual Hesitant Fuzzy Sets. **IEEE Access**, v. 8, p. 9172-9184, 2020.
- LIU, S.; HURLEY, M.; LOWELL, K. E.; SIDDIQUE, A. B. M.; DIGGLE, A.; COOK, D. C. An integrated decision-support approach in prioritizing risks of non-indigenous species in the face of high uncertainty. **Ecological Economics**, v. 70, n. 11, p. 1924-1930, 2011.
- LIU, X.; WIRTZ, K. W. Decision making of oil spill contingency options with fuzzy comprehensive evaluation. **Water resources management**, v. 21, n. 4, p. 663-676, 2007.
- LIU, Y.; FAN, Z. P.; ZHANG, X. A method for large group decision-making based on evaluation information provided by participators from multiple groups. **Information Fusion**, v. 29, p. 132-141, 2016.
- LIU, Y.; RODRÍGUEZ, R. M.; ALCANTUD, J. C.; QIN, K.; MARTINEZ, L. Hesitant linguistic expression soft sets: Application to group decision making. **Computers & Industrial Engineering**, v. 136, p. 575-590, 2019.

LOHR, C. A.; COX, L. J.; LEPCZYK, C. A. Patterns of hypothetical wildlife management priorities as generated by consensus convergence models with ordinal ranked data. **Journal of environmental management**, v. 113, p. 237-243, 2012.

LÓPEZ, J. C.; CARRILLO, P. A.; CHAVIRA, D. A.; NORIEGA, J. J. A web-based group decision support system for multicriteria ranking problems. **Operational Research**, v. 17, n. 2, p. 499-534, 2017.

LÓPEZ-MORALES, V. Multiple Criteria Decision-Making in Heterogeneous Groups of Management Experts. **Information**, v. 9, n. 12, p. 300, 2018.

LÓPEZ-ORTEGA, O.; CASTRO-ESPINOZA, F. Fuzzy similarity metrics and their application to consensus reaching in group decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 36, n. 4, p. 3095-3104, 2019.

LOZANO, R. A holistic perspective on corporate sustainability drivers. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 22, n. 1, p. 32-44, 2015.

LU, M.; WEI, G. W. Models for multiple attribute decision making with dual hesitant fuzzy uncertain linguistic information. **International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems**, v. 20, n. 4, p. 217-227, 2016.

LU, P.; YANG, X.; WANG, Z. J. Fuzzy Group Consensus Decision Making and Its Use in Selecting Energy-Saving and Low-Carbon Technology Schemes in Star Hotels. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 9, p. 2057, 2018.

MADANI, K.; READ, L.; SHALIKARIAN, L. Voting under uncertainty: a stochastic framework for analyzing group decision making problems. **Water resources management**, v. 28, n. 7, p. 1839-1856, 2014.

MAHMOUDI, A.; SADI-NEZHAD, S.; MAKUI, A.; VAKILI, M. R An extension on PROMETHEE based on the typical hesitant fuzzy sets to solve multi-attribute decision-making problem. **Kybernetes**, 2016.

MAHYAR, N.; LIU, W.; XIAO, S.; BROWNE, J.; YANG, M.; DOW, S. P. CONSENSUS: Visualizing Points of Disagreement for Multi-Criteria Collaborative Decision Making. In Companion of the 2017 **ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing**, p. 17-20, ACM., 2017.

MAITY, G.; MARDANYA, D.; ROY, S. K.; WEBER, G. W. A new approach for solving dual-hesitant fuzzy transportation problem with restrictions. **Sādhanā**, v. 44, n. 4, p. 75, 2019.

MALCZEWSKI, J.; MORENO-SANCHEZ, R.; BOJORQUEZ-TAPIA, L. A.; ONGAY-DELHUMEAU, E. Multicriteria group decision-making model for environmental conflict analysis in the Cape Region, Mexico. **Journal of Environmental Planning and management**, v. 40, n. 3, p. 349-374, 1997.

MALDONADO-GUZMÁN, G; GARZA-REYES, J. A; PINZÓN-CASTRO, Y. Eco-innovation and the circular economy in the automotive industry. **Benchmarking: An International Journal**, 2020.

MALIENE, V., DIXON-GOUGH, R., MALYS, N. Dispersion of relative importance values contributes to the ranking uncertainty: Sensitivity analysis of Multiple Criteria Decision-Making methods. **Applied Soft Computing**, v. 67, p. 286 - 298, 2018.

MALVIYA, R. K.; KANT, R.; GUPTA, A. D. Evaluation and selection of sustainable strategy for green supply chain management implementation. **Business Strategy and the Environment**, v. 27, n. 4, p. 475-502, 2018.

MANGLA, S. K.; KUMAR, P.; BARUA, M. K. Prioritizing the responses to manage risks in green supply chain: An Indian plastic manufacturer perspective. **Sustainable Production and Consumption**, v. 1, p. 67-86, 2015.

MARCILIO, G. P.; ASSIS, R. J. J.; SOUZA, C. L.; SHIMODA, E.; DA SILVA, F. F.; PEIXOTO, T. A. Analysis of greenhouse gas emissions in the road freight transportation using simulation. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 298-309, 2018.

MARTTUNEN, Mika; LIENERT, Judit; BELTON, Valerie. Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. **European Journal of Operational Research**, v. 263, n. 1, p. 1-17, 2017.

MASI, D.; KUMAR, V.; GARZA-REYES, J. A.; GODSELL, J. Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 6, p. 539-550, 2018.

MARDANI, A.; JUSOH, A.; ZAVADSKAS, E. K. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. **Expert systems with Applications**, v. 42, n. 8, p. 4126-4148, 2015.

MARTINS, C. L., LÓPEZ, H. M. L., DE ALMEIDA, A. T., ALMEIDA, J. A., & DE OLIVEIRA BORTOLUZZI, M. B. An MCDM project portfolio web-based DSS for sustainable strategic decision making in an electricity company. **Industrial Management & Data Systems**, v. 117, n. 7, p. 1362-1375, 2017.

MARTTUNEN, M.; LIENERT, J.; BELTON, V. Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. **European journal of operational research**, v. 263, n. 1, p. 1-17, 2017.

MATSATSINIS, N. F.; GRIGOROUDIS, E.; SAMARAS, A. Aggregation and disaggregation of preferences for collective decision-making. **Group decision and negotiation**, v. 14, n. 3, p. 217-232, 2005.

MATSUURA, M.; BABA, K. Consensus building for long-term sustainability in the non-north American context: Reflecting on a stakeholder process in Japan. **Negotiation and Conflict Management Research**, v. 9, n. 3, p. 256-268, 2016.

MEDEIROS, D.; F. K.; Leal; URTIGA, M. M.; MORAIS, D. C. Integrative negotiation model to support water resources management. **Journal of Cleaner Production**, v. 150, p. 148-163, 2017.

MEENA, R.; MINZ, So. Group Recommender Systems—An Evolutionary Approach Based on Multi-expert System for Consensus. **Journal of Intelligent Systems**, v. 29, n. 1, p. 1092-1108, 2019.

MEKONNEN, T.; MUSSONE, P.; BRESSLER, D. Valorization of rendering industry wastes and co-products for industrial chemicals, materials and energy. **Critical reviews in biotechnology**, v. 36, n. 1, p. 120-131, 2016.

MELIA, K. M. Ethical issues and the importance of consensus for the intensive care team. **Social Science & Medicine**, v. 53, n. 6, p. 707-719, 2001.

MENG, F.; AN, Q. A new approach for group decision making method with hesitant fuzzy preference relations. **Knowledge-Based Systems**, v. 127, p. 1-15, 2017.

MENG, F.; XU, Y.; WANG, N. Correlation coefficients of dual hesitant fuzzy sets and their application in engineering management. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, p. 1-19, 2019.

MIANABADI, H.; AFSHAR, A. Fuzzy group decision making to select the best alternative for development of groundwater resources. **In 2009 Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. IEEE**, v. 3, p. 307-311, 2019.

MICHELON, G.; BOESSO, G.; KUMAR, K. Examining the link between strategic corporate social responsibility and company performance: An analysis of the best corporate citizens. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 20, n. 2, p. 81-94, 2013.

MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. Problem structuring methods in action. **European journal of operational research**, v. 152, n. 3, p. 530-554, 2004.

MOHAGHEGHI, V.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B.. A new optimization model for project portfolio selection under interval-valued fuzzy environment. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 40, n. 11, p. 3351-3361, 2015.

MOHAGHEGHI, V.; MOUSAVI, S. M.; ANTUCHEVIČIENĖ, J.; DORFESHAN, Y. Sustainable infrastructure project selection by a new group decision-making framework introducing MORAS method in an interval type 2 fuzzy environment. **International Journal of Strategic Property Management**, v. 23, n. 6, p. 390-404, 2019.

MOHTASHAMI, A. A novel meta-heuristic based method for deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgments. **Applied Soft Computing**, v. 23, p. 530-545, 2014.

MOLANO, J. I. R.; LOVELLE, J. M. C.; MONTENEGRO, C. E.; GRANADOS, J. J. R.; CRESPO, R. G. Metamodel for integration of internet of things, social networks, the cloud and industry 4.0. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, p. 1-15, 2017.

- MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T.; FIGUEIRA, J. R. A sorting model for group decision making: a case study of water losses in Brazil. **Group Decision and Negotiation**, v. 23, n. 5, p. 937-960, 2014.
- MOREA, D.; FORTUNATI, S.; MARTINIELLO, L. Circular economy and corporate social responsibility: Towards an integrated strategic approach in the multinational cosmetics industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 315, p. 128232, 2021.
- MUÑOZ-TORRES, M. J.; FERNÁNDEZ-IZQUIERDO, M. Á.; RIVERA-LIRIO, J. M.; FERRERO-FERRERO, I.; ESCRIG-OLMEDO, E.; GISBERT-NAVARRO, J. V.; MARULLO, M. C. An assessment tool to integrate sustainability principles into the global supply chain. **Sustainability**, v. 10, n. 2, p. 535, 2018.
- MURMURA, F.; BRAVI, L.; PALAZZI, F. Evaluating companies' commitment to corporate social responsibility: Perceptions of the SA 8000 standard. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1406-1418, 2017.
- NAEEM, K.; RIAZ, M.; PENG, X.; AFZAL, D. Pythagorean fuzzy soft MCGDM methods based on TOPSIS, VIKOR and aggregation operators. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, n. Preprint**, p. 1-21, 2019.
- NAG, K., PAL, T., PAL, N. R. Robust consensus: A new measure for multicriteria robust group decision making problems using evolutionary approach. **In International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing**. Springer, Cham. p. 384-394, 2014.
- NAG, K.; PAL, T.; PAL, N. R. ASMiGA: An archive-based steady-state micro genetic algorithm. **IEEE transactions on cybernetics**, v. 45, n. 1, p. 40-52, 2014.
- NAJJAR, R. Four dimensional spatial sustainability (4DSS): a revolutionary approach toward utopian sustainability. **Discover Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2022.
- NAKATANI, K.; CHUANG, T. T. A web analytics tool selection method: an analytical hierarchy process approach. **Internet Research**, v. 21, n. 2, p. 171-186, 2011.
- NARAYANAMOORTHY, S.; RAMYA, L.; BALEANU, D.; KUREETHARA, J. V.; ANNAPOORANI, V. Application of normal wiggly dual hesitant fuzzy sets to site selection for hydrogen underground storage. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 54, p. 28874-28892, 2019.
- NAVARRO, Ignacio J.; YEPES, Victor; MARTI, Jose V. A review of multicriteria assessment techniques applied to sustainable infrastructure design. **Advances in civil engineering**, v. 2019, 2019.
- NERANTZIDIS, M. A multi-methodology on building a corporate governance index from the perspectives of academics and practitioners for firms in Greece. **Corporate Governance**, v. 16, n. 2, p. 295-329, 2016.
- NEUTZLING, D. M.; LAND, A.; SEURING, S.; DO NASCIMENTO, L. F. M. Linking sustainability-oriented innovation to supply chain relationship integration. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3448-3458, 2018.

NIE, S.; LIAO, H., WU, X.; XU, Z. Green Supplier Selection With a Continuous Interval-Valued Linguistic TODIM Method. **IEEE Access**, v. 7, p. 124315-124328, 2019.

NIKAS, A.; DOUKAS, H.; LÓPEZ, L. M. A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. **Heliyon**, v. 4, n. 3, 2018.

NOORAIE, M. Factors influencing strategic decision-making processes. **International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences**, v. 2, n. 7, p. 405, 2012.

NORIEGA, J. S. Group Decision Making and Consensual Processes. **In Large Group Decision Making**. Springer, Cham, p. 5-36, 2018.

NGUYEN, H. A novel similarity/dissimilarity measure for intuitionistic fuzzy sets and its application in pattern recognition. **Expert systems with applications**, v. 45, p. 97-107, 2016.

OSIRO, L.; LIMA-JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. A group decision model based on quality function deployment and hesitant fuzzy for selecting supply chain sustainability metrics. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 964-978, 2018.

PAITHANKAR, A.; CHATTERJEE, S. Open pit mine production schedule optimization using a hybrid of maximum-flow and genetic algorithms. **Applied Soft Computing**, v. 81, p. 105507, 2019.

PALA, Ö.; VENNIX, J. A. M; VAN MULLEKOM, T. Validity in SSM: neglected areas. **Journal of the Operational Research Society**, v. 54, n. 7, p. 706-712, 2013.

PALOMARES, I. Consensus model for large-scale group decision support in IT services management. **Intelligent Decision Technologies**, v. 8, n. 2, p. 81-94, 2014.

PALOMARES, I.; KILLOUGH, R.; BAUTERS, K.; LIU, W.; HONG, J. A collaborative multiagent framework based on online risk-aware planning and decision-making. In 2016 IEEE 28th **International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)** (pp. 25-32). IEEE, 2016.

PALOMARES, I.; SELLAH, H.; OUHBI, B.; FRIKH, B. Adaptive semi-supervised consensus model for multi-criteria large group decision making in a linguistic setting. In 2017 12th **International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE)** (pp. 1-9). IEEE, 2017.

PALOMARES, I.; CROSSCOMBE, M.; CHEN, Z. S.; LAWRY, J. Dual Consensus Measure for Multi-Perspective Multi-Criteria Group Decision Making. In 2018 IEEE **International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)** (pp. 3313-3318). IEEE, 2018

PANAIHFAR, F.; HEAVEY, C.; BYRNE, P. J. Developing retailer selection factors for collaborative planning, forecasting and replenishment. **Industrial Management & Data Systems**, v. 115 n. 7, p. 1292-1324, 2015

PARNELL, G. S., HUGHES, D. W., BURK, R. C., DRISCOLL, P. J., KUCIK, P. D., MORALES, B. L., NUNN, L. R. Invited review—Survey of value-focused thinking:

Applications, research developments and areas for future research. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 20, n. 1-2, p. 49-60, 2013.

PANTELIC, O., PAJIC A., NIKOLIC A. General Model for Adequate Cloud Service Selection using Decision Making Methods. **International journal of computers communications & control**, v. 11, n. 6, p. 832-844, 2016.

PAPATHANASIOU, J.; PLOSKAS, N. Multiple criteria decision aid. Methods, Examples and Python Implementations, v. 136, 2018.

PARREIRAS, R. O., EKEL, P. Y., MORAIS, D. C. Fuzzy set based consensus schemes for multicriteria group decision making applied to strategic planning. **Group Decision and Negotiation**, v. 21, n. 2, p. 153-183, 2012.

PARREIRAS, R. O., EKEL, P. Y., MARTINI, J. S. C., PALHARES, R. M. A flexible consensus scheme for multicriteria group decision making under linguistic assessments. **Information Sciences**, v. 180, n. 7, p. 1075-1089, 2010.

PARREIRAS, R., EKEL, P., BERNARDES JR, F. A dynamic consensus scheme based on a nonreciprocal fuzzy preference relation modeling. **Information Sciences**, v. 211, p. 1-17, 2012.

PASI, G., PEREIRA, R. A. M. A decision making approach to relevance feedback in information retrieval: A model based on soft consensus dynamics. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 14, n. 1, p. 105-122, 1999.

PAZIRANDEH, A.; JAFARI, H. Making sense of green logistics. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 62, n. 8, p. 889-904, 2013.

PEDROSO, C. B.; CALACHE, L. D. D. R. LIMA, F. R.; SILVA, A. L. D.; CARPINETTI, L. C. R. Proposal of a model for sales and operations planning (S&OP) maturity evaluation. **Production**, v. 27, 2017.

PENG, X., DAI, J., LIU, L. Interval-valued dual hesitant fuzzy information aggregation and its application in multiple attribute decision making. **International Journal for Uncertainty Quantification**, v. 8, n. 4, 2018.

PERÇIN, S. An integrated fuzzy SWARA and fuzzy AD approach for outsourcing provider selection. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, F., ROJO-ALBORECA, A. The triangle assessment method: a new procedure for eliciting expert judgement. **Expert Systems with Applications**, v. 72, p. 139-150, 2017.

POCHAMPALLY, K. K., GUPTA, S. M., GUPTA, S. K. Selection of collection centers and recovery facilities for designing a reverse supply chain. In **Environmentally Conscious Manufacturing IV** (v. 5583, p. 127-138). International Society for Optics and Photonics, 2004.

POHEKAR, Sanjay D.; RAMACHANDRAN, Muthu. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 8, n. 4, p. 365-381, 2004.

POHL, E., SCHARPENBERG, C., GELDERMANN, J. Assessment of Energy and Emission Reduction Measures in Container Terminals using PROMETHEE for Portfolio Selection. **In Operations Research Proceedings 2019** (pp. 141-147). Springer, Cham, 2020.

QI, X. W., ZHANG, J. L., LIANG, C. Y. Multiple Attributes Group Decision-Making under Interval-Valued Dual Hesitant Fuzzy Unbalanced Linguistic Environment with Prioritized Attributes and Unknown Decision-Makers' Weights. **Information**, v. 9, n. 6, p. 145, 2018.

QI, X. W., ZHANG, J. L., ZHAO, S. P., LIANG, C. Y. Tackling complex emergency response solutions evaluation problems in sustainable development by fuzzy group decision making approaches with considering decision hesitancy and prioritization among assessing criteria. **International journal of environmental research and public health**, v. 14, n. 10, p. 1165, 2017.

QI, X., ZHANG, J., LIANG, C. Multiple Attributes Group Decision-Making Approaches Based on Interval-Valued Dual Hesitant Fuzzy Unbalanced Linguistic Set and Their Applications. **Complexity**, 2018.

QI, X.; LIANG, C.; ZHANG, J. Multiple attribute group decision making based on generalized power aggregation operators under interval-valued dual hesitant fuzzy linguistic environment. **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, v. 7, n. 6, p. 1147-1193, 2016.

QIN, J.; LIU, X. Frank aggregation operators for triangular interval type-2 fuzzy set and its application in multiple attribute group decision making. **Journal of Applied Mathematics**, 2014.

QIU, Z. Product design scheme evaluation method based on AHP and dual hesitant fuzzy sets. **Revista de la Facultad de Ingeniería**, v. 31, n. 10, 2017.

QU, G., AN, Q., QU, W., DENG, F., LI, T. Multiple attribute decision making based on bidirectional projection measures of dual hesitant fuzzy set. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 37, n. 5, p. 7087-7102, 2019.

QU, G., LI, T., QU, W., XU, L., MA, X. Algorithms for regret theory and group satisfaction degree under interval-valued dual hesitant fuzzy sets in stochastic multiple attribute decision making method. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, 1-15, 2019.

QU, G., LI, Y., QU, W., LI, C. Some new Shapley dual hesitant fuzzy Choquet aggregation operators and their applications to multiple attribute group decision making-based TOPSIS. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 33, n. 4, p. 2463-2483, 2017.

QU, Y., MA, Z., CLAUSEN, A., & JØRGENSEN, B. N. A Comprehensive Review on Evolutionary Algorithm Solving Multi-Objective Problems. **In 2021 22nd IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)**, Vol. 1, pp. 825-831, IEEE, 2021, March.

QU, G., QU, W., LI, C. Some new interval-valued dual hesitant fuzzy Choquet integral aggregation operators and their applications. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, p. 1-22, 2017.

QU, G., ZHANG, H., QU, W., ZHANG, Z. Induced generalized dual hesitant fuzzy Shapley hybrid operators and their application in multi-attributes decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 31, n. 1, p. 633-650, 2016.

QU, G., ZHOU, H., QU, W., LI, C. Shapley interval-valued dual hesitant fuzzy Choquet integral aggregation operators in multiple attribute decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, p. 1-19, 2018.

REGAN, H. M., COLYVAN, M., MARKOVCHICK-NICHOLLS, L. A formal model for consensus and negotiation in environmental management. **Journal of environmental management**, v. 80, n. 2, p. 167-176, 2006.

REGAN, H. M., DAVIS, F. W., ANDELMAN, S. J., WIDYANATA, A., FREESE, M. Comprehensive criteria for biodiversity evaluation in conservation planning. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 9, p. 2715-2728, 2007.

REN, J., REN, X., DONG, L., MANZARDO, A., HE, C., PAN, M. Multiactor multicriteria decision making for life cycle sustainability assessment under uncertainties. **AIChE Journal**, v. 64, n. 6, p. 2103-2112, 2018.

REN, Z. L., XU, Z. S., WANG, H. An extended TODIM method under probabilistic dual hesitant fuzzy information and its application on enterprise strategic assessment. **In Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**, 2017 IEEE International Conference on (pp. 1464-1468).

REN, Z., WEI, C. A multi-attribute decision-making method with prioritization relationship and dual hesitant fuzzy decision information. **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, v. 8, n. 3, p. 755-763, 2017.

REN, Z., XU, Z., WANG, H. Dual hesitant fuzzy VIKOR method for multi-criteria group decision making based on fuzzy measure and new comparison method. **Information Sciences**, v. 388, p. 1-16, 2017.

REN, Z., XU, Z., WANG, H. Multi-criteria group decision-making based on quasi-order for dual hesitant fuzzy sets and professional degrees of decision makers. **Applied Soft Computing**, v. 71, p. 20-35, 2018.

REN, Z., XU, Z., WANG, H. The Strategy Selection Problem on Artificial Intelligence With an Integrated VIKOR and AHP Method Under Probabilistic Dual Hesitant Fuzzy Information. **IEEE Access**, v. 7, p. 103979-103999, 2019.

REZAKHANI, P. Fuzzy MCDM model for risk factor selection in construction projects. **Engineering Journal**, v. 16, n. 5, p. 79-94, 2012.

RIGOPOULOS, G., PSARRAS, J., DIMITRIOS, A. Web support system for group collaborative decisions. **J. Applied Sci**, v. 8, p. 407-419, 2008.

ROBERTS, P.; PRIEST, H. Reliability and validity in research. **Nursing standard**, v. 20, n. 44, p. 41-46, 2006.

RODRIGUES, M.; FRANCO, M. The Corporate Sustainability Strategy in Organisations: A Systematic Review and Future Directions. **Sustainability**, v. 11, n. 22, p. 6214, 2019.

RODRÍGUEZ, R. M.; MARTINEZ, L.; HERRERA, F. A group decision making model dealing with comparative linguistic expressions based on hesitant fuzzy linguistic term sets. **Information Sciences**, v. 241, p. 28-42, 2013.

RODZI, Z. M. Fuzzy parameterized dual hesitant fuzzy soft sets and its application in topsis. **Mathematics and Statistics**, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2020.

ROMERO-GELVEZ, J. I., GARCIA-MELON, M. Influence Analysis in Consensus Search—A Multi Criteria Group Decision Making Approach in Environmental Management. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 15, n. 04, p. 791-813, 2016.

ROSENHEAD, J. Planning under uncertainty: II. A methodology for robustness analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 31, n. 4, p. 331-341, 1980.

ROSSI, E.; BERTASSINI, A. C.; DOS SANTOS FERREIRA, C.; DO AMARAL, W. A. N.; OMETTO, A. R. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. **Journal of Cleaner Production**, v. 247, p. 119137, 2020.

SAHU, A. K., DATTA, S., MAHAPATRA, S. S. Evaluation and selection of resilient suppliers in fuzzy environment: exploration of fuzzy-VIKOR. **Benchmarking: An International Journal**, v. 23, n. 3, p. 651-673, 2016.

SARKAR, B.; ULLAH, M.; KIM, N. Environmental and economic assessment of closed-loop supply chain with remanufacturing and returnable transport items. **Computers & Industrial Engineering**, v. 111, p. 148-163, 2017.

SAKTI, A.; PESANT, G.; GUÉHÉNEUC, Y. G. Instance generator and problem representation to improve object oriented code coverage. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 41, n. 3, p. 294-313, 2014.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Systematic review studies: a guide for careful synthesis of the scientific evidence. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SANTAGATA, R.; ZUCARO, A.; VIGLIA, S.; RIPA, M.; TIAN, X.; ULGIATI, S. Assessing the sustainability of urban eco-systems through Emergy-based circular economy indicators. **Ecological Indicators**, v. 109, p. 105859, 2020.

SCHOTTEN, P. C.; MORAIS, D. C. A group decision model for credit granting in the financial market. **Financial Innovation**, v. 5, n. 1, p. 6, 2019.

SCHRAMM, V. B.; SCHRAMM, F. An approach for supporting problem structuring in water resources management and planning. **Water Resources Management**, v. 32, n. 9, p. 2955-2968, 2018.

SCOTT, J.; HO, W.; DEY, P. K.; TALLURI, S. A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments. **International Journal of Production Economics**, v. 166, p. 226–237, 2015.

SELLAK, H., OUHBI, B., FRIKH, B. AND IKKEN, B. Expertise-based consensus building for MCGDM with hesitant fuzzy linguistic information. **Information Fusion**, v. 50, p. 54-70, 2019.

SGARBOSSA, F.; RUSSO, I. A proactive model in sustainable food supply chain: Insight from a case study. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 596-606, 2017.

SHAHIN, A., MAHBOD, M. A. Prioritization of key performance indicators: An integration of analytical hierarchy process and goal setting. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 56, n. 3, p. 226-240, 2007.

SHAO, Y., QI, X., GONG, Z. A general framework for multi-granulation rough decision-making method under q-rung dual hesitant fuzzy environment. **Artificial Intelligence Review**, p. 1-31, 2020.

SHARMA, S., SHAH, B. Towards lean warehouse: transformation and assessment using RTD and ANP. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 65, n. 4, p. 571-599, 2016.

SHEN, F., XU, J., XU, Z. An automatic ranking approach for multi-criteria group decision making under intuitionistic fuzzy environment. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, v. 14, n. 3, p. 311-334, 2015.

SHEN, F., XU, J., XU, Z. An outranking sorting method for multi-criteria group decision making using intuitionistic fuzzy sets. **Information Sciences**, v. 334, p. 338-353, 2016.

SHRIVASTAVA, P.; BERGER, S. Sustainability principles: A review and directions. **Organization Management Journal**, v. 7, n. 4, 246-261, 2010.

SIDDQUI, M. H.; TRIPATHI, S. N. Application of soft operations research for enhancing the servicescape as a facilitator. **Vikalpa**, v. 36, n. 1, p. 33-50, 2011.

SILVA, A. S.; MEDEIROS, C. F.; VIEIRA, R. K. Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. **Journal of cleaner production**, v. 150, p. 324-338, 2017.

SIMPSON, D.; SAMSON, D. Developing strategies for green supply chain management. **Decision line**, v. 39, n. 4, p. 12-15, 2008.

SINGH, P. A new method for solving dual hesitant fuzzy assignment problems with restrictions based on similarity measure. **Applied Soft Computing**, v. 24, p. 559-571, 2014.

SINGH, P. Distance and similarity measures for multiple-attribute decision making with dual hesitant fuzzy sets. **Computational and Applied Mathematics**, v. 36, n. 1, p. 111-126, 2017.

SINGH, R. K.; BENYOUCEF, L. A consensus based group decision making methodology for strategic selection problems of supply chain coordination. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 26, n. 1, p. 122-134, 2013.

SIRAJ, N. B.; OMAR, M.; FAYEK, A. R. A combined fuzzy aggregation and consensus process for Multi-Criteria Group Decision Making problems. **In 2016 Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS)** (pp. 1-6). IEEE, 2016.

SOLAIRAJU, A.; MAHALAKSHMI, S. Dual hesitant fuzzy soft n-ideals. **International Journal of Pure and Applied Mathematics**, 118(10), p. 13-22, 2018.

SONEGO, M.; ECHEVESTE, M. E. S.; DEBARBA, H. G. The role of modularity in sustainable design: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 196-209, 2018.

SONG, Y.; YAO, H.; YAO, S.; YU, D.; SHEN, Y. Risky Multicriteria Group Decision Making Based on Cloud Prospect Theory and Regret Feedback. **Mathematical Problems in Engineering**, 2017.

SONG, Y.; YAO, S.; YU, D.; SHEN, Y. Risky multi-criteria group decision making on green capacity investment projects based on supply chain. **Journal of Business Economics and Management**, v. 18, n. 3, p. 355-372, 2017 b.

SQUILLANTE, M.; VENTRE, V. Assessing false consensus effect in a consensus enhancing procedure. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 25, n. 3, p. 274-285, 2010.

SRDJEVIC, B.; PIPAN, M.; SRDJEVIC, Z.; BLAGOJEVIC, B.; ZORANOVIC, T. Virtually combining the analytical hierarchy process and voting methods in order to make group decisions. **Universal Access in the Information Society**, v. 14, n. 2, p. 231-245, 2015.

SRDJEVIC, Z.; SRDJEVIC, B. Modelling multicriteria decision making process for sharing benefits from the reservoir at Serbia-Romania border. **Water resources management**, v. 28, n. 12, p. 4001-4018, 2014.

SRDJEVIC, Z.; LAKICEVIC, M.; SRDJEVIC, B. Approach of decision making based on the analytic hierarchy process for urban landscape management. **Environmental management**, v. 51, n. 3, 777-785, 2013.

SREEKUMAR, V.; RAJMOHAN, M. Supply chain strategy decisions for sustainable development using an integrated multi-criteria decision-making approach. **Sustainable Development**, v. 27, n. 1, p. 50-60, 2019.

SREEKUMAR, V.; RAJMOHAN, M. Supply chain sustainability strategy selection using integrated multi-criteria decision-making method. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 31, n. 4, p. 483-505, 2018.

- SREMAC, S.; STEVIĆ, Ž.; PAMUČAR, D.; ARSIĆ, M.; MATIĆ, B. Evaluation of a Third-Party Logistics (3PL) Provider Using a Rough SWARA–WASPAS Model Based on a New Rough Dombi Aggregator. **Symmetry**, v. 10, n. 8, p. 305, 2018.
- SRIVASTAVA, A.; GAUR, S. K.; SWAMI, S.; BANWET, D. K. Analysis of interpretive structural model of Indian railway security system by analytic hierarchy process (AHP). **Journal of Advances in Management Research**, 2019.
- STEINER, M. T. A.; DATTA, D.; NETO, P. J. S.; SCARPIN, C. T.; FIGUEIRA, J. R. Multi-objective optimization in partitioning the healthcare system of Parana State in Brazil. **Omega**, v. 52, p. 53-64, 2015.
- STOCK, J. R.; BOYER, S. L. Developing a consensus definition of supply chain management: a qualitative study. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2009.
- SU, Z.; XU, Z.; LIU, H.; LIU, S. Distance and similarity measures for dual hesitant fuzzy sets and their applications in pattern recognition. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 29, n. 2, p. 731-745, 2015.
- SU, Z.; XU, Z.; ZHAO, H.; LIU, S. Distribution-based approaches to deriving weights from dual hesitant fuzzy information. **Symmetry**, v. 11, n. 1, 2019.
- TAKAYANAGI, N.; MIZUTANI, Y.; LOUCKS, D. P. Stakeholder consensus building in multiobjective environments. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 137, n. 3, p. 293-303, 2011.
- TAM, M. C.; TUMMALA, V. R. An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system. **Omega**, v. 29, n. 2, p. 171-182, 2001.
- TAMAKI, H., KITA, H.; KOBAYASHI, S. Multi-objective optimization by genetic algorithms: A review. **In: Proceedings of IEEE international conference on evolutionary computation**. IEEE, p. 517-522, 1996.
- TANG, J. W.; HSU, T. H. A fuzzy preference relations model for evaluating key supplier relationships in TFT-LCD TV panel manufacturing industry. **Management Decision**, v. 53, n. 8, p. 1858-1882, 2015.
- TANG, M.; LIAO, H. Multiple Criteria Group Decision-Making Based on Hesitant Fuzzy Linguistic Consensus Model for Fashion Sales Forecasting. **In: International Conference on Artificial Intelligence on Textile and Apparel**. Springer, Cham, p. 329-336, 2018.
- TANG, X.; FU, C.; XU, D. L.; YANG, S. Analysis of fuzzy Hamacher aggregation functions for uncertain multiple attribute decision making. **Information Sciences**, v. 387, p. 19-33, 2017.
- TANG, X.; YANG, S.; PEDRYCZ, W. Multiple attribute decision-making approach based on dual hesitant fuzzy Frank aggregation operators. **Applied Soft Computing**, v. 68, p. 525-547, 2018.
- TANG, Z.; NG, S. Thomas. Sustainable building development in China—A system thinking study. **Procedia Engineering**, v. 85, p. 493-500, 2014.

TAVANA, M. CROSS: a multicriteria group-decision-making model for evaluating and prioritizing advanced-technology projects at NASA. **Interfaces**, v. 33, n. 3, p. 40-56, 2003.

TAVANA, M.; KENNEDY, D. T. N-Site: A distributed consensus building and negotiation support system. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 5, n. 01, p. 123-154, 2006.

TAVANA, M.; KENNEDY, D. T.; JOGLEKAR, P. A group decision support framework for consensus ranking of technical manager candidates. **Omega**, v. 24, n. 5, p. 523-538, 1996.

TAVARES, L. V. An acyclic outranking model to support group decision making within organizations. **Omega**, v. 40, n. 6, p. 782-790, 2012.

TAVELLA, E.; LAMI, I. Negotiating perspectives and values through soft OR in the context of urban renewal. **Journal of the Operational Research Society**, v. 70, n. 1, p. 136-161, 2019.

TAYLAN, O.; KABLI, M. R.; PORCEL, C.; HERRERA-VIEDMA, E. Contractor selection for construction projects using consensus tools and big data. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 20, n. 4, p. 1267-1281, 2018.

TIAN, J.; ZHANG, Z.; HA, M. An Additive-Consistency-and Consensus-Based Approach for Uncertain Group Decision Making With Linguistic Preference Relations. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 27, n. 5, p. 873-887, 2018.

TIAN, Z. P.; NIE, R. X.; WANG, J. Q.; ZHANG, H. Y. A two-fold feedback mechanism to support consensus-reaching in social network group decision-making. **Knowledge-Based Systems**, v. 162, p. 74-91, 2018.

TIAN, Z. P.; WANG, J. Q.; ZHANG, H. Y.; WANG, T. L. Signed distance-based consensus in multi-criteria group decision-making with multi-granular hesitant unbalanced linguistic information. **Computers & Industrial Engineering**, v. 124, p. 125-138, 2018.

TIAN, Z. P., NIE, R. X., WANG, J. Q., & ZHANG, H. Y. Signed distance-based ORESTE for multicriteria group decision-making with multigranular unbalanced hesitant fuzzy linguistic information. **Expert Systems**, v. 36, n. 1, p. e12350, 2019.

TING, S. C.; CHO, D. I. An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 13, n. 2, p. 116-127, 2008.

TOURATIER-MULLER, N.; MACHAT, K.; JAUSSAUD, J. Impact of French governmental policies to reduce freight transportation CO2 emissions on small-and medium-sized companies. **Journal of cleaner production**, v. 215, p. 721-729, 2019.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207-222, 2003.

TSENG, M. L.; LIN, R. J.; CHEN, H. P. Evaluating the effectiveness of e-learning system in uncertainty. **Industrial Management & Data Systems**, v. 111, n. 6, p. 869-889, 2011.

TSUI, C; WEN, U. A hybrid multiple criteria group decision-making approach for green supplier selection in the TFT-LCD industry. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2014, 2014.

TYAGI, S. K. Correlation coefficient of dual hesitant fuzzy sets and its applications. **Applied mathematical modelling**, v. 39, n. 22, 7082-7092, 2015.

VETSCHERA, R.; DE ALMEIDA, A. T. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. **Computers & Operations Research**, v. 39, n. 5, p. 1010-1020, 2012.

VIACAVA, K. R.; PEDROZO, E. A. Gerenciamento Adaptativo do SAI de Acácia Negra: uma abordagem sob a ótica da auto-organização sustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 143-158, 2015.

VIANA, A.; DE SOUSA, J. P. Using metaheuristics in multiobjective resource constrained project scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 120, n. 2, p. 359-374, 2000.

VINODH, S.; PRASANNA, M.; PRAKASH, N. Hari. Integrated Fuzzy AHP–TOPSIS for selecting the best plastic recycling method: A case study. **Applied Mathematical Modelling**, v. 38, n. 19-20, p. 4662-4672, 2014.

VIRJEE, K.; GASKIN, S. Fuzzy cost recovery in planning for sustainable water supply systems in developing countries. **Energy**, v. 30, n. 8, p. 1329-1341, 2005.

WANG, C. H.; CHEN, J. N. Using quality function deployment for collaborative product design and optimal selection of module mix. **Computers & Industrial Engineering**, v. 63, n. 4, p. 1030-1037, 2012.

WANG, C.; LI, Q.; ZHOU, X. Multiple attribute decision making based on generalized aggregation operators under dual hesitant fuzzy environment. **Journal of Applied Mathematics**, 2014.

WANG, H.; XU, Z. Multi-groups decision making using intuitionistic-valued hesitant fuzzy information. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 9, n. 3, p. 468-482, 2016.

WANG, H.; ZHAO, X.; WEI, G. Dual hesitant fuzzy aggregation operators in multiple attribute decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 26, n. 5, p. 2281-2290, 2014.

WANG, J.; LIN, Y. I. A fuzzy multicriteria group decision making approach to select configuration items for software development. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 134, n. 3, p. 343-363, 2003.

WANG, J.; ZHANG, R.; BUCHMEISTER, B.; WANG, R. Generalized dual hesitant fuzzy bonferroni mean with its application to supplier selection. In Tokyo: **IEEE International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences**, 2017.

WANG, L.; NI, M.; ZHU, L. Correlation measures of dual hesitant fuzzy sets. **Journal of Applied Mathematics**, 2013.

WANG, L.; SHEN, Q.; ZHU, L. Dual hesitant fuzzy power aggregation operators based on Archimedean t-conorm and t-norm and their application to multiple attribute group decision making. **Applied Soft Computing**, v. 38, p. 23-50, 2016.

WANG, L.; WANG, Q.; XU, S.; NI, M. Distance and similarity measures of dual hesitant fuzzy sets with their applications to multiple attribute decision making. **In Progress in Informatics and Computing (PIC), IEEE**, p. 88-92, 2014.

WANG, F.; ZENG, S. Z.; ZHANG, C. H. A Method Based on Intuitionistic Fuzzy Dependent Aggregation Operators for Supplier Selection. **Mathematical Problems in Engineering**, n 481202, 2013.

WANG, L.; ZHENG, X.; ZHANG, L.; YUE, Q. Notes on Distance and Similarity Measures of Dual Hesitant Fuzzy Sets. **International Journal of Applied Mathematics**, v. 46, n. 4, 2016.

WANG, S. W.; DING, X. Q.; DING, Z. Z. Model for performance evaluation in customs service management with dual hesitant fuzzy information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 30, n. 4, p. 2131-2137, 2016.

WANG, X.; CAI, J. A group decision-making model based on distance-based VIKOR with incomplete heterogeneous information and its application to emergency supplier selection. **Kybernetes**, v. 46, n. 3, p. 501-529, 2017.

WANG, X.; WANG, J.; ZHANG, H. Distance-based multicriteria group decision-making approach with probabilistic linguistic term sets. **Expert Systems**, v. 36, n. 2, p. e12352, 2019.

WANG, Y. X. Research on the efficiency evaluation of venture capital of high-science and technology companies with dual hesitant fuzzy information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 31, n. 3, p. 1183-1187, 2016.

WANG, Z.; SUBRAMANIAN, N.; ABDULRAHMAN, M.; LIU, C. Composite practices to improve sustainability: A framework and evidence from Chinese auto-parts company. In: 2013 IEEE **International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. IEEE**, p. 1047-1051, 2013.

WCED, S. W. S. World commission on environment and development. **Our common future**, v. 17, p. 1-91, 1987.

WEI, C. C.; ANDRIA, A.; XIAO, H. W.; WEI, C. S.; LAI, T. C. A new fuzzy decision-making approach for selecting new product development project. **Concurrent Engineering**, v. 24, n. 3, 240-250, 2016.

WEI, G. Some induced geometric aggregation operators with intuitionistic fuzzy information and their application to group decision making. **Applied soft computing**, v. 10, n. 2, p. 423-431, 2010.

WEI, G. Interval-valued dual hesitant fuzzy uncertain linguistic aggregation operators in multiple attribute decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 33, n. 3, p. 1881-1893, 2017.

- WEI, G. W.; XU, X. R.; DENG, D. X. Interval-valued dual hesitant fuzzy linguistic geometric aggregation operators in multiple attribute decision making. **International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems**, v. 20, n. 4, p. 189-196, 2016.
- WEI, G.; LIN, R.; WANG, H.; RAN, L. Interval-valued dual hesitant fuzzy linguistic arithmetic aggregation operators in multiple attribute decision making. **International Core Journal of Engineering**, v. 1, n. 6, p. 12-222, 2015.
- WEI, H. H.; LIU, M.; SKIBNIEWSKI, M. J.; BALALI, V. Prioritizing sustainable transport projects through multicriteria group decision making: Case study of Tianjin Binhai New Area, China. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 5, 2016.
- WEN, L.; XU, L.; WANG, R. Sustainable supplier evaluation based on intuitionistic fuzzy sets group decision methods. **Journal of Information & Computational Science**, v.10, n. 10, p. 3209-3220, 2013.
- WEN-JIE, B.; XIAO-HONG, C. An Extended Dominance-Based Rough Set Approach to Group Sorting Decision Making. In 2007 **International Conference on Management Science and Engineering**. IEEE, p. 339-344, 2017.
- WEY, W. M.; CHANG, Y. H. A comparative location study for the joint development station of a mass rapid transit system: a case in Taichung City in Taiwan. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 36, n. 4, p. 573-587, 2009.
- WIBOWO, S.; DENG, H. A consensus support system for supplier selection in group decision making. **Journal of Management Science and Statistical Decision**, v. 6, n. 4, p. 52-59, 2009.
- WIBOWO, S.; DENG, H. Consensus-based decision support for multicriteria group decision making. **Computers & Industrial Engineering**, v. 66, n. 4, p. 625-633, 2013.
- WIBOWO, S.; DENG, H. Multi-criteria group decision making for evaluating the performance of e-waste recycling programs under uncertainty. **Waste Management**, v. 40, p. 127-135, 2015.
- WICHER, P.; ZAPLETAL, F.; LENORT, R. Sustainability performance assessment of industrial corporation using Fuzzy Analytic Network Process. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118132, 2019.
- WITTSTRUCK, D.; TEUTEBERG, F. Integrating the concept of sustainability into the partner selection process: a fuzzy-AHP-TOPSIS approach. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 12, n. 2, p. 195-226, 2012.
- WOLF, J. The relationship between sustainable supply chain management, stakeholder pressure and corporate sustainability performance. **Journal of business ethics**, v. 119, n. 3, p. 317-328, 2014.
- WONG, H. Y.; ROSENHEAD, J. A rigorous definition of robustness analysis. *Journal of the operational research society*, v. 51, n. 2, p. 176-182, 2000.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. **Journal of the Operational Research Society**, v. 48, n. 11, p. 1148-1148, 1997.

WU, W.; KOU, G. A group consensus model for evaluating real estate investment alternatives. **Financial Innovation**, v. 2, n. 1, 2016.

WU, W.; KOU, G.; PENG, Y. A consensus facilitation model based on experts' weights for investment strategy selection. **Journal of the Operational Research Society**, v. 69, n. 9, p. 1435-1444, 2018.

WU, Z.; MA, N.; ZENG, Z.; XU, J. Integer programming models to manage consensus for uncertain MCGDM based on PSO algorithms. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 27, n. 5, p. 888-902, 2018.

WU, Z.; FANG, Y. A consensus and maximizing deviation based approach for multi-criteria group decision making under linguistic setting. **In 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) IEEE**, p. 469-475, 2014.

WU, Z.; ZHANG, F.; SUN, J.; WANG, W.; TANG, X. Novel Parameterized Utility Function on Dual Hesitant Fuzzy Rough Sets and Its Application in Pattern Recognition. **Information**, v. 10, n. 2, 2019.

WUDHIKARN, R. Improving the intellectual capital management approach using the hybrid decision method. **Journal of Intellectual Capital**, v. 19, n. 4, p. 670-691, 2018.

XIE, W., XU, Z., REN, Z., & HERRERA-VIEDMA, E. Expanding grey relational analysis with the comparable degree for dual probabilistic multiplicative linguistic term sets and its application on the cloud enterprise. **IEEE Access**, v. 7, p. 75041-75057, 2019.

XING, Y.; ZHANG, R.; XIA, M.; WANG, J. Generalized point aggregation operators for dual hesitant fuzzy information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 33, n. 1, p. 515-527, 2017.

XU, J.; WU, Z.; ZHANG, Y. A consensus based method for multi-criteria group decision making under uncertain linguistic setting. **Group Decision and Negotiation**, v. 23, n. 1, p. 127-148, 2014.

XU, J.; ZHONG, L.; YAO, L.; WU, Z. An interval type-2 fuzzy analysis towards electric vehicle charging station allocation from a sustainable perspective. **Sustainable cities and society**, v. 40, p. 335-351, 2018.

XU, J.; WANG, H. Build competitive advantage through the integration of sustainable supply chains. **In: 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics. IEEE**, p. 2177-2180, 2008.

XU, X. H.; DU, Z. J.; CHEN, X. H. Consensus model for multi-criteria large-group emergency decision making considering non-cooperative behaviors and minority opinions. **Decision Support Systems**, v. 79, p. 150-160, 2015.

Xu, Y. Model for evaluating the mechanical product design quality with dual hesitant fuzzy information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 30, n. 1, p. 1-6, 2016.

- XU, Y.; RUI, D.; WANG, H. Dual hesitant fuzzy interaction operators and their application to group decision making. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 32, n. 4, p. 273-290, 2015.
- XU, Y.; SHANG, X.; WANG, J.; ZHAO, H.; ZHANG, R.; BAI, K. Some interval-valued q-rung dual hesitant fuzzy Muirhead mean operators with their application to multi-attribute decision-making. **IEEE Access**, 7, 54724-54745, 2019.
- XU, Z. Deviation measures of linguistic preference relations in group decision making. **Omega**, v. 33, n. 3, p. 249-254, 2005.
- XUE, Min; DUE, Yifei. A group decision-making model based on regression method with hesitant fuzzy preference relations. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2017, 2017.
- XUE, M.; TANG, X.; FENG, N. An extended VIKOR method for multiple attribute decision analysis with bidimensional dual hesitant fuzzy information. **Mathematical Problems in Engineering**, 2016.
- YANG, S.; JU, Y. Dual hesitant fuzzy linguistic aggregation operators and their applications to multi-attribute decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 27, n. 4, p. 1935-1947, 2014.
- YANG, S.; JU, Y. A GRA method for investment alternative selection under dual hesitant fuzzy environment with incomplete weight information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 28, n. 4, p. 1533-1543, 2015.
- YANIE, A.; HASIBUAN, A.; ISHAK, I.; MARSONO, M.; LUBIS, S.; NURMALINI, N.; AHMAR, A. S. Web Based Application for Decision Support System with ELECTRE Method. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, p. 012054, 2018.
- YASSINE K.; BRAHIM, H. CCAHP: a new method for group decision making application on supply chain dashboard design. **International Journal of Mechanical and Production**, 2018.
- YEH, J. M.; KRENG, B.; LIN, C. A consensus approach for synthesizing the elements of comparison matrix in the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Systems Science**, v. 32, n. 11, p. 1353-1363, 2001.
- YOON, Y.; HASTAK, M.; CHO, K. Preference clustering-based mediating group decision-making (PCM-GDM) method for infrastructure asset management. **Expert Systems with Applications**, v. 83, p. 206-214, 2017.
- YU, D. Some generalized dual hesitant fuzzy geometric aggregation operators and applications. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, v. 22, n. 3, p. 367-384, 2014.
- YU, D. Archimedean aggregation operators based on dual hesitant fuzzy set and their application to GDM. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, v. 23, n. 5, p. 761-780, 2015.

YU, D. J.; LI, D. F. Dual hesitant fuzzy multi-criteria decision making and its application to teaching quality assessment. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 27, n. 4, p. 1679-1688, 2014.

YU, D.; LI, D. F.; MERIGO, J. M. Dual hesitant fuzzy group decision making method and its application to supplier selection. **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, v. 7, n. 5, p. 819-831, 2016.

YU, D.; MERIGÓ, J. M.; XU, Y. Group decision making in information systems security assessment using dual hesitant fuzzy set. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 31, n. 8, p. 786-812, 2016.

YU, D.; ZHANG, W.; HUANG, G. Dual hesitant fuzzy aggregation operators. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 22, n. 2, p. 194-209, 2016.

YUE, J. Correlation coefficient of dual hesitant fuzzy sets and its application to multiple attribute decision making. **Applied Mathematical Modelling**, v. 38, n. 2, p. 659-666, 2014.

YU, L.; LAI, K. K. A distance-based group decision-making methodology for multi-person multi-criteria emergency decision support. **Decision Support Systems**, v. 51, n. 2, p. 307-315, 2011.

YU, L.; WANG, S.; LAI, K. K. An intelligent-agent-based fuzzy group decision making model for financial multicriteria decision support: The case of credit scoring. **European journal of operational research**, v. 195, n. 3, 942-959, 2009.

YU, L.; WANG, S.; WEN, F.; LAI, K. K. Genetic algorithm-based multi-criteria project portfolio selection. **Annals of Operations Research**, v. 197, n. 1, p. 71-86, 2012.

YU, S.; ZHANG, H.; WANG, J. Hesitant Fuzzy Linguistic Maclaurin Symmetric Mean Operators and their Applications to Multi-Criteria Decision-Making Problem. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 33, n. 5, p. 953-982, 2018.

YU, X.; XIONG, N.; ZHANG, W. Research on Mining Rules from Multi-criterion Group Decision Making Based on Genetic Algorithms. In 2010 13th **IEEE International Conference on Computational Science and Engineering**. **IEEE**, p. 302-307, 2010.

YUSOFF, B.; MERIGÓ, J. M.; CEBALLOS, D.; PELÁEZ, J. I. Weighted-selective aggregated majority-OWA operator and its application in linguistic group decision making. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 33, n. 9, p. 1929-1948, 2018.

ZADEH, L. A. Linguistic variables, approximate reasoning and dispositions. **Medical Informatics**, v. 8, n. 3, p. 173-186, 1983.

ZAIED, A. N. H.; ISMAIL, M.; GAMAL, A. An Integrated of Neutrosophic-ANP Technique for Supplier Selection. **Neutrosophic Sets and Systems**, v. 27, n. 1, p. 21, 2019.

ZAKARIA, I. H.; IBRAHIM, J. A.; OTHMAN, A. A. Waste biomass toward hydrogen fuel supply chain management for electricity: Malaysia perspective. In: **AIP Conference Proceedings**. **AIP Publishing LLC**, p. 020111, 2016.

- ZANG, Y.; SUN, W.; HAN, S. Grey relational projection method for multiple attribute decision making with interval-valued dual hesitant fuzzy information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 33, n. 2, p. 1053-1066, 2017.
- ZANG, Y.; ZHAO, X.; LI, S. Interval-Valued Dual Hesitant Fuzzy Heronian Mean Aggregation Operators and their Application to Multi-Attribute Decision Making. **International Journal of Computational Intelligence and Applications**, v. 17, n. 1, p. 1850005, 2018.
- ZARGHAMI, M. Soft computing of the Borda count by fuzzy linguistic quantifiers. **Applied Soft Computing**, v. 11, n. 1, p. 1067-1073, 2011.
- ZHANG, Jun Ling; QI, Xiao Wen; HUANG, Hai Bin. A hesitant fuzzy multiple attribute group decision making approach based on TOPSIS for parts supplier selection. **In: Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications**, p. 2730-2737, 2013.
- ZHANG, C.; LI, D.; YAN, Y. A dual hesitant fuzzy multigranulation rough set over two-universe model for medical diagnoses. **Computational and mathematical methods in medicine**, 2015.
- ZHANG, D. F.; ZHANG, J. L.; LAI, K. K.; LU, Y. B. An novel approach to supplier selection based on vague sets group decision. **Expert Systems With Applications**, v. 36, n. 5, p. 9557-9563, 2009.
- ZHANG, F.; CHEN, J.; ZHU, Y.; LI, J.; LI, Q.; ZHUANG, Z. A Dual Hesitant Fuzzy Rough Pattern Recognition Approach Based on Deviation Theories and Its Application in Urban Traffic Modes **Recognition. Symmetry**, v. 9, n. 11, 262, 2017.
- ZHANG, H.; HE, Y.; XIONG, L. Multi-granulation dual hesitant fuzzy rough sets. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 30, n. 2, p. 623-637, 2016.
- ZHANG, H.; SHU, L.; LIAO, S.; XIAWU, C. Dual hesitant fuzzy rough set and its application. **Soft Computing**, v. 21, n. 12, p. 3287-3305, 2017.
- ZHANG, J.; HEGDE, G., SHANG, J.; QI, X. Evaluating emergency response solutions for sustainable community development by using fuzzy multi-criteria group decision making approaches: IVDHF-TOPSIS and IVDHF-VIKOR. **Sustainability**, v. 8, n. 4, p. 291, 2016.
- ZHANG, N.; GONG, Z.; CHICLANA, F. Minimum cost consensus models based on random opinions. **Expert Systems with Applications**, v. 89, p. 149-159, 2017.
- ZHANG, N.; JIAN, J.; SU, J. Dual hesitant fuzzy linguistic power-average operators based on archimedean t-conorms and t-norms. **IEEE Access**, v. 7, p. 40602-40624, 2019.
- ZHANG, N.; YAO, Z.; ZHOU, Y.; WEI, G. Some new dual hesitant fuzzy linguistic operators based on Archimedean t-norm and t-conorm. **Neural Computing and Applications**, v. 31, n. 11, p. 7017-7040, 2019.
- ZHANG, R.; LI, Z.; LIAO, H. Multiple-attribute decision-making method based on the correlation coefficient between dual hesitant fuzzy linguistic term sets. **Knowledge-Based Systems**, v. 159, p. 186-192, 2018.

ZHANG, W.; LI, X.; JU, Y. Some aggregation operators based on Einstein operations under interval-valued dual hesitant fuzzy setting and their application. **Mathematical Problems in Engineering**, 2014.

ZHANG, X. Y.; WANG, J. Q. Consensus-based framework to MCGDM under multi-granular uncertain linguistic environment. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 33, n. 2, p. 1263-1274, 2017.

ZHANG, X. Y.; WANG, J. Q.; HU, J. H. A consensus approach to multi-granular linguistic MCGDM with hesitant fuzzy linguistic information by using projection. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 34, n. 3, p. 1959-1974, 2018.

ZHANG, Y. Research on the computer network security evaluation based on the DHFHCG operator with dual hesitant fuzzy information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 28, n. 1, p. 199-204, 2015.

ZHANG, Y. Performance evaluation models for parallel computing with dual hesitant fuzzy information. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 30, n. 4, 2067-2071, 2016.

ZHANG, Y.; WANG, L., YU, X.; YAO, C. A new concept of Cosine similarity measures based on dual hesitant fuzzy sets and its possible applications. **Cluster Computing**, v. 22, n. 6, p. 15483-15492, 2019.

ZHANG, Z. Hesitant fuzzy multi-criteria group decision making with unknown weight information. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 19, n. 3, p. 615-636, 2017.

ZHAO, H.; XU, Z.; LIU, S. Dual hesitant fuzzy information aggregation with Einstein t-conorm and t-norm. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 26, n. 2, p. 240-264, 2017.

ZHAO, N.; XU, Z. Entropy measures for dual hesitant fuzzy information. **Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), IEEE**, p. 1152-1156, 2015.

ZHAO, N.; XU, Z.; LIU, F. Group decision making with dual hesitant fuzzy preference relations. **Cognitive Computation**, v. 8, n. 6, p. 1119-1143, 2016.

ZHAO, S.; DONG, Y.; ZHANG, H.; CHICLANA, F.; HERRERA-VIEDMA, E. A self-management mechanism to manage non-cooperative behaviors in LGDM-based supply chain risk mitigation. **In: 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). IEEE**, p. 3307-3312, 2018.

ZHAO, Z.; YIN, J.; LI, Y.; XIONG, W.; ZHAN, Y. An efficient hybrid approach to correcting errors in short reads. **In International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence. Springer, Berlin, Heidelberg**, p. 198-210, 2011.

ZHU, B.; XU, Z. Some results for dual hesitant fuzzy sets. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 26, n. 4, 1657-1668, 2014.

ZHU, B.; XU, Z.; XIA, M. Dual hesitant fuzzy sets. **Journal of Applied Mathematics**, 2012.

ZHU, J.; LI, Y. Green supplier selection based on consensus process and integrating prioritized operator and Choquet integral. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2744, 2018.

ZHU, L.; WANG, L.; YANG, Y.; YAO, C. Research on Evolutionary Model for Trust of Nodes Based on the Fuzzy Correlation Measures. **Wireless Personal Communications**, v. 102, n. 4, p. 3647-3662, 2018.