UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DIOGO FERREIRA DE LIMA SILVA

ESTADO DA ARTE EM MODELAGEM FINANCEIRA COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS ATRAVÉS DE UMA REVISÃO SITSEMÁTICA E UM NOVO MÉTODO PDTOPSIS-SORT APLICADO NA AVALIAÇÃO DE DEBÊNTURES.

RECIFE
2018

DIOGO FERREIRA DE LIMA SILVA

ESTADO DA ARTE EM MODELAGEM FINANCEIRA COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS ATRAVÉS DE UMA REVISÃO SITSEMÁTICA E UM NOVO MÉTODO PDTOPSIS-SORT APLICADO NA AVALIAÇÃO DE DEBÊNTURES.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida Filho.

RECIFE
2018

Catalogação na fonte
Bibliotecária Valdicea Alves, CRB-4 / 1260

S586e Silva, Diogo Ferreira de Lima.

Estado da arte em modelagem financeira com múltiplos critérios através de uma revisão sistemática e um novo método pdtopsis-sort aplicado na avaliação de debêntures. / Diogo Ferreira de Lima Silva - 2018.

138 folhas, Il.; Tabs.; Abr.; Sigl. e Eq.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida Filho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2018.

Inclui: Referências e Anexos.

1. Engenharia de Produção. 2. PDTOPSIS-Sort. 3. Debêntures. 4. Apoio à decisão multicritério. 5. Finanças. 6. Revisão sistemática. II. Almeida Filho, Adiel Teixeira de. (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2018-152

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORAPARECER DA COMISSÃO EXAMINADORAPARECER DA COMISSÃO EXAMINADORAPARECER DA COMISSÃO EXAMINADORADA COMISSÃO EXAMINADORA

DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

DIOGO FERREIRA DE LIMA SILVA

"ESTADO DA ARTE EM MODELAGEM FINANCEIRA COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS ATRAVÉS DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E UM NOVO MÉTODO PDTOPSIS-SORT APLICADO NA AVALIAÇÃO DE DEBÊNTURES"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato DIOGO FERREIRA DE LIMA SILVA**.**

Recife, 26 de fevereiro de 2018.

_____

Prof. Dr. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA FILHO, Orientador (UFPE)

_____

Prof. Dr. MÁRCIO DAS CHAGAS MOURA (UFPE)

_____

Prof. Dr. LUCIANO FERREIRA (UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Sandra Maria de Lima Silva e Marcondes Ferreira da Silva, e a toda minha família pelo apoio, atenção e comprometimento desde a minha infância, realizando todos os esforços necessários e possíveis para garantir a minha educação.

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Adiel T. de Almeida Filho, pela oportunidade, por acreditar no projeto e por me incentivar a alcançar os meus objetivos.

Agradeço ao Grupo de Pesquisa em Gerenciamento de Riscos, Estudos de Engenharia Financeira e Otimização (GREEFO) pelo apoio prestado nos inúmeros projetos em parceria durante o ano de 2017.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção pelos cursos ofertados em 2017 e aos funcionários da secretaria do PPGEP pela disponibilidade e pelo apoio.

Por fim, agradeço ao CNPq pela apoio financeiro concedido, essencial para a realização do meu mestrado acadêmico.

“AN INVESTMENT IN KNOWLEDGE PAYS THE BEST INTEREST.”

Benjamin Franklin

RESUMO

Finanças representam um campo de estudos de grande diversidade de áreas e problemas de decisão, que podem envolver muitos objetivos e afetar a performance de organizações e o bem-estar das pessoas. Com a complexidade e os múltiplos objetivos que essas decisões podem abranger, destacam-se os métodos e modelos de Apoio à Decisão Multicritério (MCDM/A) como alternativas viáveis para auxiliar os decisores envolvidos nesses problemas. O presente trabalho apresenta um estudo sobre o estado da arte envolvendo o uso de MCDM/A em decisões financeiras, através de uma revisão sistemática da literatura, objetivando responder a um conjunto de questões relevantes envolvendo essa aplicabilidade. Através da metodologia usada na revisão sistemática, este trabalho contribui para a literatura neste tema ao apresentar uma categorização dos artigos pesquisados. Foram analisados os principais critérios e metodologias MCDM/A utilizados em decisões financeiras, além de estudos dos principais autores, revistas científicas e áreas de finanças apoiadas pelos modelos. Além de retratar o estado da arte em modelagem financeira com múltiplos objetivos apresentando e validando várias questões de pesquisa, esta dissertação propõe um novo método TOPSIS baseado em programação não linear para inferência de parâmetros através de avaliações holísticas. Tendo em vista a lacuna encontrada na literatura no que tange à análise de debêntures, escolheu-se este universo para a aplicação do novo método proposto após uma validação numérica a partir de resultados anteriores obtidos para o método TOPSIS-Sort. Assim, após a validação do novo método multicritério proposto nesta dissertação, PDTOPSIS-Sort (Preference Disaggregation on Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Sort), é apresentada a primeira análise de debêntures brasileiras através de uma modelagem de apoio multicritério à decisão. Para a análise das debêntures, foram considerados dados reais coletados a partir dos demonstrativos financeiros das empresas emissoras destes papéis.

Palavras-chave: PDTOPSIS-Sort. Debêntures. Apoio à decisão multicritério. Finanças. Revisão sistemática.

ABSTRACT

Finance represents a field of study with great diversity of areas and decision problems, which can involve many objectives and affect corporate performances and people`s welfare. Models and methods of Multicriteria Decision Making/Aiding (MCDM/A) work as viable alternatives to deal with the complexity and the multiple objectives that financial decisions can include, therefore, these tools aid decisor makers toward decision processes. This work presents a study about the state of art involving the use of MCDM/A for financial decisions through a systematic literature review aiming to respond to a set of relevant questions on this field. This work contributes to the literature by bringing forward a categorization of the reviewed papers. Furthermore, there are included analysis on the main financial criteria and MCDM/A methodologies used for financial decisions, the main authors, journals, and financial areas supported by the multicriteria models. In addition to portraying the state of the art in financial modelling with multiple objectives by validating many hypothesis, this thesis propose a new TOPSIS method based on nonlinear programming for parameters` inference through holistic evaluations. In view of the gap found on literature with regard to analysis of debentures, this financial aspect was chosen for the application of the new proposed method after numerical validation based on results previously obtained on literature for the TOPSIS-Sort. Therefore, after the validation of the new method proposed in this thesis, Preference Disaggregation on Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Sort (PDTOPSIS-Sort), it is presented the first Brazilian debentures` analysis supported by a MCDM/A model. In the debenture analysis, it was considered real data collected from financial statements published by the issuers of these corporate bonds.

Keywords: PDTOPSIS-Sort. Debentures. Multicriteria decision aiding. Finance. Systematic review.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Processo de Filtragem **29**
Figura 4.1 – Número de Publicações X Ano **31**
Figura 4.2 – Número de Citações por ano **32**
Figura 4.3: Aderência do Número de Citações à Distribuição Exponencial **32**
Figura 4.4 – Estatísticas – Principais Revistas **35**
Figura 4.5 – Frequências de trabalhos nas áreas financeiras **38**
Figura 4.6: Frequência das Problemáticas Abordadas **41**
Figura 4.7: Frequência de Utilização dos Critérios **45**
Figura 4.8: Critérios Tradicionais e Modernos **46**
Figura 5.1: Estrutura do PDTOPSIS-Sort **54**

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Problemáticas em Decisão Multicritério 22
Tabela 3.1 – Research Questions 26
Tabela 3.2- Palavras Chave 27
Tabela 4.1 – Evolução de Publicações e Citações por ano 30
Tabela 4.2 – Número e Percentual de Revistas por Quantidade de Publicações 33
Tabela 4.3 – Estatísticas das Revistas Científicas 34
Tabela 4.4: Número de Revistas por Área de Atuação 36
Tabela 4.5 – Descrição das Áreas Financeiras 37
Tabela 4.6 – Distribuição de Artigos por Área de Estudo 38
Tabela 4.7 – Metodologias Multicritério X Áreas de Estudo 40
Tabela 4.8 – Número de Autores por Quantidade de Publicações 46
Tabela 4.9 – Principais Autores 47
Tabela 4.10 – Tabela de Frequências: Autor X critério 48
Tabela 4.11 – Método Estatístico Cramer`s V-square 49
Tabela 4.12: Conclusões das Research Questions 49
Tabela 5.1: Matriz de Decisão 1 62
Tabela 5.2: Alternativas de Referência para Validação do Método 63
Tabela 5.3: Parâmetros Inferidos - Validação 64
Tabela 5.4: Matriz Normalizada – Validação 65
Tabela 5.5: Resultados da Classificação – Validação 66
Tabela 6.1: Conjunto de Alternativas 69
Tabela 6.2: Conjunto de Critérios 71
Tabela 6.3: Matriz de Desempenhos 71
Tabela 6.4: Conjunto de Referência 73
Tabela 6.5: Resultados da Inferência de Parâmetros 74
Tabela 6.6: Matriz de Decisão Final Normalizada 75
Tabela 6.7: Classificação das Alternativas 77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE	Asset Evaluation
AHP	Analytic Hierarchical Process
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANP	Analytic Network Process
B&FP	Budgeting & Financial Planning
CAR	Capital Adequacy Ratio
CIR	Cost to Income Ratio
COPRAS	Complex Proportional Assessment
CP	Corporate Performance
CR	Credit Risk
DEA	Data Envelopment Analysis
DRSA	Dominance-based Rough Set Approach
EF	Energy Finance
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Realité
EVA	Economic Value Added
FINCLASS	Financial Classification
GDP	Gross Domestic Product
GNP	Gross National Product
GRA	Gray Relational Analysis
IA	Investment Appraisal
M&A	Mergers & Acquisitions
M.H.DIS	Multi-group Hierarchical Discrimination
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAUT	Multi-attribute Utility Theory
MAVT	Multi-attribute Value Theory
MCDA	Multicriteria Decision Aiding
MCDM	Multicriteria Decision Making
MO	Multiobjective Optimization
MOEA	Multiobjective Evolutionary Algorithms

MOO	Otimização Multi Objetivo
MVA	Market Value Added
PDTOPSIS-SORT	Preference Disaggregation on Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution – Sort
PO	Portfolio Optimization
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
SAW	Simple Additive Weighting
SLR	Systematic Literature Review
SRI	Socially Responsible Investment
UTADIS	Utilites Additives Discriminantes

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (5.1) **59**
Equação (5.2) **59**
Equação (5.3) **59**
Equação (5.4) **59**
Equação (5.5) **59**
Equação (5.6) **59**
Equação (5.7) **59**
Equação (5.8) **59**
Equação (5.9) **59**
Equação (5.10) **59**
Equação (5.11) **59**
Equação (5.12) **59**
Equação (5.13) **60**
Equação (5.14) **61**
Equação (5.15) **61**
Equação (5.16) **63**
Equação (5.17) **63**
Equação (5.18) **63**
Equação (5.19) **63**
Equação (5.20) **63**
Equação (5.21) **64**
Equação (5.22) **64**
Equação (5.23) **64**
Equação (5.24) **64**
Equação (5.25) **64**
Equação (5.26) **64**
Equação (6.1) **73**
Equação (6.2) **73**
Equação (6.3) **73**
Equação (6.4) **73**
Equação (6.5) **73**
Equação (6.6) **73**
Equação (6.7) **73**
Equação (6.8) **74**
Equação (6.9) **74**
Equação (6.10) **74**

Equação (6.11) **74**
Equação (A.1) **135**
Equação (A.2) **135**
Equação (A.3) **135**
Equação (A.4) **135**
Equação (A.5) **135**
Equação (A.6) **135**
Equação (A.7) **135**
Equação (A.8) **135**
Equação (A.9) **135**
Equação (A.10) **135**
Equação (A.11) **135**
Equação (A.12) **135**
Equação (A.13) **135**
Equação (A.14) **135**
Equação (A.15) **135**
Equação (A.16) **135**
Equação (A.17) **135**
Equação (A.18) **135**
Equação (A.19) **135**
Equação (A.20) **135**
Equação (A.21) **135**
Equação (A.22) **135**
Equação (A.23) **135**
Equação (A.24) **135**
Equação (A.25) **135**
Equação (A.26) **135**
Equação (A.27) **136**
Equação (A.28) **136**
Equação (A.29) **136**
Equação (A.30) **136**
Equação (A.31) **136**
Equação (A.32) **136**
Equação (A.33) **136**
Equação (A.34) **136**
Equação (A.35) **136**
Equação (A.36) **136**
Equação (A.37) **136**
Equação (A.38) **136**

Equação (A.39) **136**
Equação (A.40) **136**
Equação (A.41) **136**
Equação (A.42) **136**
Equação (A.43) **136**
Equação (A.44) **136**
Equação (A.45) **136**
Equação (A.46) **136**
Equação (A.47) **136**
Equação (A.48) **136**
Equação (A.49) **136**
Equação (A.50) **136**
Equação (A.51) **136**
Equação (A.52) **136**
Equação (A.53) **136**
Equação (A.54) **136**
Equação (A.55) **136**
Equação (A.56) **136**
Equação (A.57) **136**
Equação (A.58) **136**
Equação (A.59) **136**
Equação (A.60) **136**
Equação (A.61) **136**
Equação (A.62) **137**
Equação (A.63) **137**
Equação (A.64) **137**
Equação (A.65) **137**
Equação (A.66) **137**
Equação (A.67) **137**
Equação (A.68) **137**
Equação (A.69) **137**
Equação (A.70) **137**
Equação (A.71) **137**
Equação (A.72) **137**
Equação (A.73) **137**
Equação (A.74) **137**
Equação (A.75) **137**
Equação (A.76) **137**
Equação (A.77) **137**

Equação (A.78) **137**
Equação (A.79) **137**
Equação (A.80) **137**
Equação (A.81) **137**
Equação (A.82) **137**
Equação (A.83) **137**
Equação (A.84) **137**
Equação (A.85) **137**
Equação (A.86) **137**
Equação (A.87) **137**
Equação (A.88) **137**
Equação (A.89) **137**
Equação (A.90) **137**
Equação (A.91) **137**
Equação (A.92) **137**
Equação (A.93) **137**
Equação (A.94) **137**
Equação (A.95) **137**
Equação (A.96) **137**
Equação (A.97) **138**
Equação (A.98) **138**
Equação (A.99) **138**
Equação (A.100) **138**
Equação (A.101) **138**
Equação (A.102) **138**
Equação (A.103) **138**
Equação (A.104) **138**
Equação (A.105) **138**
Equação (A.106) **138**
Equação (A.107) **138**
Equação (A.108) **138**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18

1.1 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO 19
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO 20
1.2.1 Objetivo Geral *20*
1.2.2 Objetivos Específicos *21*
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 21

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 22

2.1 APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO 22
2.1.1 Metodologias e Métodos Multicritério *23*
2.1.1.1 Otimização Multiobjetivo (MOO) 23
2.1.1.2 Métodos de Critério Único de Síntese 23
2.1.1.3 Métodos de Sobreclassificação 24
2.1.1.4 Análises de Desagregação de Preferências 24
2.2 GESTÃO FINANCEIRA 25

3 METODOLOGIA DA REVISÃO SISTEMÁTICA 26

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (*SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW* – SLR) 26
3.1.1 Definição das Questões Relevantes para a Pesquisa *26*
3.1.2 Coleta e Seleção dos Artigos 27
3.1.2.1 Processo de Filtragem 28
3.2 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 29

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA REVISÃO SISTEMÁTICA 30

4.1 NÚMERO DE PUBLICAÇÕES E CITAÇÕES 30
4.2 CATEGORIZAÇÃO DOS ARTIGOS - REVISTAS CIENTÍFICAS 33
4.3 CATEGORIZAÇÃO DOS ARTIGOS - ÁREAS FINANCEIRAS 36
4.4 CATEGORIZAÇÃO DOS ARTIGOS - METODOLOGIAS MCDM/A 39
4.5 CATEGORIZAÇÃO DE ARTIGOS - CRITÉRIOS 41
4.6 CATEGORIZAÇÃO DOS ARTIGOS - AUTORES 46
4.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 49

5 PROPOSIÇÃO DE MÉTODO: PDTOPSIS-SORT 51

5.1 CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO E DESAGREGAÇÃO DE PREFERÊNCIAS 51
5.2 PREFERENCE DISAGGREGATION ON TOPSIS-SORT 53
5.2.1 TOPSIS-SORT *56*
5.2.2 Modelo de desagregação 58
5.3 VALIDAÇÃO DO PDTOPSIS-SORT 61

5.3.1 Definição do Problema de Decisão 61
5.3.2 Obtenção de Exemplos de Decisão 62
5.3.3 Definição do Problema de Decisão 63
5.3.4 Classificação das Alternativas 64
5.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 67
6 AVALIAÇÃO DE DEBÊNTURES ATRAVÉS DO PDTOPSIS-SORT 68
6.1 INVESTIMENTOS EM DEBÊNTURES 68
6.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO 68
6.3 OBTENÇÃO DE EXEMPLOS DE DECISÃO E INFERÊNCIA DE PARÂMETROS 72
6.3.1 Validação da inferência de parâmetros 74
6.4 CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS 75
6.4.1 Análise de sensibilidade 78
6.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 79
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 81
7.1 CONCLUSÕES 81
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 82
REFERÊNCIAS 84
ANEXO 1 135

1 INTRODUÇÃO

Decisões financeiras estão presentes no dia-a-dia das organizações e das pessoas de maneira geral. De acordo com Zopounidis *et al*. [1], um crescimento no uso de técnicas sofisticadas para apoio à tomada de decisão em finanças é observado devido, dentre outros aspectos, ao aumento no grau de complexidade dos sistemas financeiros mundiais. Apesar dos avanços correspondentes a essas técnicas, decisões financeiras tornaram-se mais difíceis com o passar do tempo, e ainda englobam uma série de desafios [2]. O ambiente globalizado traz ao decisor uma maior quantidade de dados, alternativas de decisão e aspectos a serem considerados. Por outro lado, esse ambiente é mais competitivo e uma decisão equivocada pode trazer danos financeiros/econômicos muitas vezes irreparáveis.

Com a complexidade e os múltiplos objetivos que decisões financeiras podem abranger, destacam-se os métodos/modelos de Apoio à Decisão Multicritério (MCDM/A) como alternativas viáveis para auxiliar os decisores envolvidos com tais problemas. Exemplos de objetivos presentes em decisões financeiras são: maximização de rentabilidade, liquidez, valor financeiro, retorno social e minimização de risco, custos, danos ambientais provenientes dos investimentos, etc. Nota-se que, em muitas ocasiões, tais objetivos podem ser conflitantes. O exemplo clássico de conflito de objetivos é encontrado na análise do *trade-off* existente entre a maximização da rentabilidade de uma carteira de investimentos e a minimização do risco associado a ela, muitas vezes medido em termos da variância dos retornos. Esse conflito é abordado na Teoria Moderna do Portfólio [3], [4], até hoje vastamente explorada na literatura com inúmeras variações e avanços desde a sua descoberta, há 65 anos.

A relevância desse tema motivou revisões da literatura relacionando MCDM/A em finanças de maneira abrangente [1], [5], [6] demonstram o crescimento da utilização de ferramentas multicritério nessa área. Além disso, revisões mais específicas envolvendo aplicações de alguns tipos de métodos multicritério, ou envolvendo um campo de pesquisa de finanças em particular, também podem ser encontradas em [7]–[12].

O presente estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura envolvendo o uso de MCDM/A em decisões financeiras, objetivando responder um conjunto de questões relevantes envolvendo essa aplicabilidade. O trabalho se destaca por apresentar uma metodologia clara e estruturada, com um conjunto de métricas não observadas em revisões anteriores, como a análise e classificação dos critérios utilizados nos modelos, estudo dos principais autores e estudos de correlação envolvendo o uso dos critérios financeiros e os principais autores dessa

área. Foram consideradas na presente revisão sistemática publicações realizadas entre o ano de 2000 e a data de 03 de agosto de 2017, presentes na base de dados Web of Science.

Com o intuito de trazer novas contribuições à literatura envolvendo MCDM/A em finanças, visto que uma lacuna foi encontrada em relação à análise de debentures na revisão sistemática, um modelo de decisão multicritério é aplicado nessa área. Nesta dissertação, é proposto um novo método de apoio à decisão multicritério para a problemática de classificação, denominado PDTOPSIS-Sort (Preference Disaggregation on Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution – Sort), baseado em avaliações holísticas do decisor e na base teórica dos métodos TOPSIS e TOPSIS-Sort. O método proposto infere parâmetros do TOPSIS através de um modelo de otimização não linear, com desagregação de preferências. Esta variação em relação ao método TOPSIS pode ser aplicada em contextos onde a elicitação de parâmetros da maneira tradicional é inviável ou quando os resultados desta elicitação não são confiáveis.

Após a apresentação dos passos do novo método, PDTOPSIS-Sort, é realizada uma validação com um exemplo numérico baseado na literatura. Em seguida, um estudo de caso no mercado financeiro é apresentado com a avaliação de alternativas de investimentos com base em dados reais obtidos através dos balanços patrimoniais de empresas brasileiras.

1.1 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Gitman & Zutter [13] apresentam Finanças como um campo de estudos dinâmico e vasto. Esses autores explicam que decisores individuais tomando decisões pessoais procuram analisar quanto de sua receita gastar, economizar e investir; enquanto as organizações tomam decisões sobre como levantar dinheiro dos investidores, como investi-lo para ter lucratividade e como reinvestir/distribuir os lucros.

Crises financeiras ao longo da história evidenciam a importância de um tratamento cada vez mais cuidadoso por parte de governos, empresas, investidores e pessoas de maneira geral a questões envolvendo gestão financeira e econômica. Recentemente, em meados de 2014, uma crise financeira de enorme impacto atingiu o Brasil, aumentando índices de desemprego, falência de empresas, o que culminou também em uma rebaixamento do rating do país por parte das agências avaliadoras de risco. No fim da última década, houve um forte período de crise financeira mundial, com início em uma grande bolha imobiliária nos Estados Unidos que culminou com a falência de alguns bancos de investimentos e com a quebra do sistema financeiro do país naquele momento [14], [15].

Além dos possíveis cenários de crises financeiras, o avanço da globalização e a forte concorrência no mercado torna mais arriscada a tomada de decisão de empresas. O ambiente altamente competitivo faz da avaliação financeira de empresas um importante aspecto considerado por gestores, organizações, investidores em potencial e credores, que levam em conta indicadores/critérios como retorno, produtividade, crescimento econômico, dentre outros [16].

O risco é, assim, um fator que está inserido em grande parte das decisões em finanças e pode impactar de diversas maneiras a vida de agentes financeiros. Damodaran [17] indica que as empresas devem saber gerir os riscos e aproveitar as melhores oportunidades advindas deles, e, dessa forma, não devem apenas evitar o risco. Esse gerenciamento na tomada de decisão em problemas financeiros pode requerer ferramentas de Apoio a Decisão Multicritério. O uso de sistemas de apoio à decisão multicritério adiciona contribuições à teoria financeira ao dar suporte aos tomadores de decisão na modelagem, análise e avaliação de múltiplas alternativas de ação que podem ser consideradas [5].

Diante dos riscos associados às decisões financeiras e do forte impacto que suas consequências podem ter nas organizações, fica clara a relevância do estudo de técnicas e modelos que podem apoiar decisores nesses problemas. Dentre eles, o Apoio a Decisão Multicritério se destaca no tratamento de problemas complexos, envolvendo múltiplos objetivos. O presente trabalho contribui com uma exploração do estado da arte em aplicações de modelagem MCDM/A em finanças a partir de uma revisão sistemática da literatura, além de uma aplicação de um novo método multicritério em um problema financeiro real ainda não explorado nesse contexto.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise abrangente do estado da arte envolvendo aplicações de metodologias de Apoio à Decisão Multicritério em decisões financeiras e propor uma variante do método TOPSIS para a problemática de classificação baseada em programação não linear através de avaliações holísticas. Para ilustrar as contribuições do novo método, é proposto um estudo de caso para avaliação de debêntures.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- Identificar a evolução das publicações e do número de citações dos trabalhos envolvendo MCDM/A em finanças;
- Identificar as principais revistas científicas que publicam trabalhos envolvendo MCDM/A para modelagem financeira;
- Identificar as principais áreas de finanças apoiadas por MCDM/A;
- Avaliar quais são as principais metodologias MCDM/A utilizadas e as problemáticas abordadas;
- Identificar e classificar os critérios utilizados nos artigos científicos segundo as suas respectivas aplicações em finanças;
- Apontar os principais autores que trabalham com MCDM/A em problemas financeiros;
- Formular um modelo de programação não linear para inferência de parâmetros no método TOPSIS;
- Estruturar os procedimentos para o método PDTOPSIS-Sort;
- Realizar a validação numérica do método;
- Apresentar um estudo de caso com a aplicação do método proposto para a avaliação de debêntures;

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação está estruturada em 7 capítulos. O Capítulo 1, Introdução, trata de apresentar o tema abordado no presente estudo, os objetivos, e a justificativa do trabalho. No Capítulo 2, Fundamentação Teórica, fundamentos de base conceitual utilizados nessa dissertação são tratados e fontes para busca de informações mais detalhadas são indicadas. O capítulo 3, Metodologia, apresenta a revisão sistemática da literatura. O Capítulo 4, Resultados e Discussões da Revisão Sistemática, relata os principais achados para cada um dos objetivos específicos relacionados à revisão sistemática da literatura, apresentando estatísticas e gráficos de resultados gerados a partir da categorização de artigos, além da formulação de questões de pesquisa. O Capítulo 5, intitulado Proposição de Método: PDTOPSIS-Sort, apresenta e valida um novo método de decisão multicritério proposto para a problemática de classificação, baseado em avaliações holísticas. No Capítulo 6, Avaliação de Debêntures a partir do PDTOPSIS-Sort, é realizado um estudo de caso com a aplicação do novo método proposto no contexto de avaliação de debêntures. O Capítulo 7, Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros, apresenta um fechamento do trabalho, contemplando os principais pontos abordados e as perspectivas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta alguns dos fundamentos básicos utilizados no presente trabalho. A fundamentação teórica está subdividida nos temas Apoio a Decisão Multicritério e Gestão Financeira.

2.1 APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO

Almeida [18] define problema de decisão multicritério como uma situação onde existem pelo menos dois cursos de ação para se escolher, e essa escolha é realizada de modo a atender a diferentes objetivos, muitas vezes conflitantes entre si. Em problemas que envolvem grande quantidade de critérios, normalmente não existe a possibilidade de se chegar a uma solução unânime e ótima, pois diferentes objetivos e preferências resultam em diferentes resultados [2]. A modelagem MCDM/A difere, assim, da abordagem clássica de otimização em Pesquisa Operacional, sendo consideradas as preferências de um decisor ou de um grupo de decisores no processo de tomada de decisão [18].

Problemas de decisão multicritério podem ser classificados em diferentes tipos, de acordo com a forma que o decisor pretende tomar uma posição comparativa entre as alternativas do problema [18], sendo os seguintes tipos descritos por Roy [19]: Problemática de Escolha, Problemática de Classificação, Problemática de Ordenação e Problemática de Descrição. [18] acrescenta a Problemática de Portfólio, um caso especial da Problemática de Escolha. A tabela a seguir define os objetivos das problemáticas [18], [19]:

Tabela 2.1: Problemáticas em Decisão Multicritério

PROBLEMÁTICA	OBJETIVO
ESCOLHA	Selecionar um subconjunto de alternativas presentes no espaço de ações.
CLASSIFICAÇÃO	Alocar cada alternativa a uma classe, sendo um conjunto de classes pré-definido de acordo com as características do problema.
ORDENAÇÃO	Ordenar as alternativas de acordo com as preferências do decisor sob o seu conjunto de objetivos.
DESCRIÇÃO	Descrever o conjunto de alternativas e suas respectivas consequências.
PORTFÓLIO	Selecionar um subconjunto de alternativas presentes no espaço de ações de modo a atender aos objetivos do decisor e respeitar restrições impostas à decisão.

Fonte: [18], [19].

Um modelo AMD se dedica, assim, a tratar problemas multicritério através de uma representação formal e simplificada da realidade com suporte de um método/metodologia

multicritério [18]. Roy [19] explica que para um modelo ser objetivo, este deve se mostrar imparcial e livre de viés em sua forma de representar o fenômeno e na forma de investigar e comunicar o fenômeno.

2.1.1 Metodologias e métodos multicritério

Doumpos & Zopounidis [2] distinguem entre quatro tipos de abordagens multicritério: Otimização Multiobjetivo; Teoria de Valor/Utilidade Multiatributo; Relações de Sobreclassificação; e Análises de Desagregação de Preferências. Almeida [18] apresenta uma classificação dos métodos MCDA que consiste nos métodos de critérios único de síntese, onde se insere a Teoria de Valor/Utilidade Multiatributo (MAUT/MAVT); Métodos de Sobreclassificação; e Métodos Interativos, onde se enquadram os métodos de Otimização Multiobjetivo.

2.1.1.1 Otimização Multiobjetivo (MOO)

A Otimização Multiobjetivo consiste em abordagens de programação matemática [18] envolvendo mais de um único objetivo do decisor, e assim, é considerada uma extensão aos métodos tradicionais de otimização monobjetivo [2]. O campo de atuação da abordagem de otimização multiobjetivo contempla problemas complexos, podendo envolver a formulação de heurísticas e algoritmos evolucionários [20]. Nessa abordagem, existe uma busca por alternativas não dominadas em uma análise da fronteira de Pareto [2], [20]. No contexto de MOO, a otimalidade das soluções é analisada em função de dominância devido ao fato de que não existe uma alternativa que possua o melhor desempenho em todos os critérios ao mesmo tempo[2].

2.1.1.2 Métodos de Critério Único de Síntese

Envolvem metodologias que agregam/combinam as performances de cada alternativa para os diferentes critérios de avaliação, de forma que se obtenha um valor global de performance para cada alternativa [20]. Esse valor é utilizado para comparações entre as diferentes alternativas do problema, e assim, para a tomada de decisão.

Os métodos provenientes da Teoria de Valor Multiatributo (como o Modelo Aditivo, AHP, SMARTS, MACBETH, FITradeoff) e da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) exemplificam essa característica [20]. Esses métodos são considerados compensatórios, pois um bom desempenho de uma alternativa para um determinado critério pode compensar um

desempenho ruim para um outro critério, sendo a compensação definida pelos tradeoffs (pesos, constantes de escala) dos critérios de decisão [2], [18].

MAUT difere de MAVT ao tratar problemas sob a perspectiva da existência de consequências probabilísticas, considerando-se assim uma modelagem no contexto de incerteza, enquanto MAVT trata de consequências determinísticas [18]. Ambas abordagens são bem definidas axiomaticamente, onde testes devem ser realizados para validar a adequação dos métodos ao contexto decisório.

2.1.1.3 Métodos de Sobreclassificação

Os métodos de sobreclassificação possuem racionalidade não-compensatória, ou seja, um mau desempenho de uma alternativa em um dos critérios não é compensado por um bom desempenho em um outro critério [2], [20]. Além disso, esses métodos admitem relações de incomparabilidade entre as alternativas [20]. A relação de sobreclassificação indica que uma alternativa ‘a’ é pelo menos tão boa quanto uma alternativa ‘b’, se a sobreclassifica b. Os métodos de sobreclassificação são formulados de maneira que as alternativas sejam comparadas par-a-par. Em modelos que utilizam métodos de sobreclassificação, a avaliação intercritério é realizada de modo que os pesos dos critérios representam o grau de importância relativa de cada critério [18]. Mais informações sobre as principais famílias de métodos de sobreclassificação e suas características podem ser encontradas em [2], [18], [20], [21].

2.1.1.4 Análises de Desagregação de Preferências

Os métodos de desagregação de preferências são formulados com o intuito de realizar-se uma inferência de parâmetros (necessários para um modelo de agregação) através de avaliações holísticas do decisor [20]. A desagregação de preferências se faz necessária em situações que é exigido muito tempo (decisor indisponível) para a elicitação de preferências do decisor da maneira usual ou em casos em que o decisor não quer participar ativamente do processo de elicitação e fornecer as informações necessárias ao analista [22]. Além disso, Mosseau & Slowinski [23] indicam que existem casos em que não é realista assumir que o decisor é capaz de determinar os parâmetros necessários por um modelo de forma convencional.

Almeida *et al.*[20] explicam que existem exemplos onde essa inferência de parâmetros é realizada para modelos de critério único de síntese e para modelos de sobreclassificação. Mais informações sobre as origens e a utilização dos conceitos de desagregação de preferências podem ser encontradas em Jacquet-Lagrèze & Siskos [24].

2.2 GESTÃO FINANCEIRA

Gitman & Zutter [13] definem Finanças como a ciência e a arte de gerenciar dinheiro e, nesse cenário, os autores destacam que a gestão financeira está relacionada às obrigações atribuídas aos gerentes financeiros de organizações de diferentes áreas. Empresas de todas as áreas costumam manter os potenciais investidores informados sobre os seus desempenhos organizacionais a partir do uso de demonstrativos financeiros [25], que consistem em informações contábeis que servem como base para avaliação da empresa (e de seus respectivos ativos).

As principais demonstrações financeiras publicadas pelas organizações periodicamente são [13]:

- Balanço Patrimonial
- Demonstração de Resultados
- Demonstração de Fluxo de Caixa
- Demonstração de Mudanças de Patrimônio Líquido

A partir desses documentos, agentes financeiros podem calcular índices financeiros de modo que possam interpretar quantitativamente e de maneira mais prática os resultados de determinada organização, e assim, obter um panorama geral da mesma. Exemplos de índices financeiros são [13].:

- Liquidez
- Liquidez a seco
- Retorno sobre investimento
- Índice de débito organizacional
- Giro de estoque

Nesta dissertação, diferentes índices financeiros são agrupados em relação aos seus objetivos de medida. Além disso, alguns índices são utilizados em um estudo de caso para analisar debentures. Mais informações sobre gestão financeira, índices e as demonstrações contábeis podem ser encontradas em [13], [25].

3 METODOLOGIA DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Esse capítulo apresenta como a revisão sistemática da literatura foi estruturada, definindo os procedimentos e regras utilizadas para a obtenção do conjunto final de artigos, além do conjunto de *research questions* a serem testadas na mesma.

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (*SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW* – SLR)

A presente revisão sistemática combina aspectos de estudos recentes, de mesma natureza, realizados e publicados em diferentes áreas do conhecimento [1], [26]–[30]. Ruschel et al. [26] estruturam a sua revisão sistemática em quatro fases principais: *Definição; Coleta e Seleção; Análise; e Resultados.* Almeida et al. [30], por sua vez, apresentam a seguinte estrutura: *Formulação de questões e palavras-chave; Declaração de fontes e métodos de pesquisa; e Extração e síntese dos dados.* A presente revisão primeiro define as necessidades/questões que serão analisadas no trabalho; depois realiza a coleta de artigos e a posterior filtragem, a partir de procedimentos padronizados; apresentando os principais resultados obtidos; e por fim, analisa-os.

3.1.1 Definição das questões relevantes para a pesquisa

A fase de definição consistiu em identificar as necessidades a serem atendidas pela revisão. Assim, inicialmente, foram definidas questões que seriam analisadas na SLR, de maneira semelhante a Almeida et al. [30], resultando em uma série de *Research Questions* (RQ) para guiar a análise dos resultados, bem como para definir o escopo do trabalho. As RQ's são ilustradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Research Questions

RQ's	Descrição
RQ#1	Existe um crescimento no número de aplicações de MCDM/A em finanças?
RQ#2	O número de citações de artigos relacionando MCDM/A e finanças cresce exponencialmente?
RQ#3	Aplicações MCDM/A em finanças são mais pertinentes a revistas com foco em Pesquisa Operacional e Ciências da Computação?
RQ#4	Modelos MCDM/A são aplicados em todas as áreas de Finanças?

RQ#5	Há uma integração entre a teoria fuzzy e métodos MCDM/A para a modelagem financeira?
RQ#6	Existe prevalência entre os métodos de AMD para a análise de performance corporativa?
RQ#7	Existe prevalência entre os métodos de AMD para seleção de portfólio de investimentos?
RQ#8	Existe associação entre a área de finanças correspondente ao problema de decisão e a metodologia MCDM/A utilizada para tratar o mesmo?
RQ#9	Existe prevalência entre as problemáticas de decisão?
RQ#10	Existe prevalência entre as categorias dos critérios?
RQ#11	Existe associação entre os autores e as categorias de critérios financeiros utilizadas nas respectivas abordagens MCDM/A?

Fonte: *O autor (2018)*

3.1.2 Coleta e seleção dos artigos

A coleta da bibliografia da presente revisão sistemática foi realizada no banco de dados Web of Science. Foram considerados, na análise, os artigos publicados entre 01 de janeiro 2000 e 03 de agosto de 2017, data da realização da coleta de dados. Como filtro inicial para a coleta, além do intervalo de tempo considerado, foram considerados apenas trabalhos escritos na língua inglesa, dada a maior relevância e quantidade de trabalhos publicados nesse idioma.

Para a realização das buscas no serviço disponibilizado pelo Web of Science, foram formulados dois conjuntos de palavras-chave, conforme Tabela 3.2. Um primeiro conjunto envolveu 8 palavras-chave relacionadas a diversas áreas de finanças. O segundo conjunto, com 12 palavras-chave, está relacionado ao campo de Apoio a Decisão Multicritério, envolvendo siglas gerais como MCDA e MCDM e nome de métodos como AHP (*Analitic Hierarchy Process*), *Goal Programming*, TOPSIS, entre outros. Algumas das palavras-chave escolhidas são citadas também na revisão realizada por Zopounidis *et al*. [1], porém tais autores não descrevem claramente o conjunto total de palavras escolhidas e as combinações realizadas.

Tabela 3.2- Palavras Chave

Financial Keywords	**MCDM/A Keywords**
Asset Evaluation; Banking; Corporate Performance; Country Risk; Credit Risk; Finance; Financial Performance; Portfolio Optimization	*AHP; ELECTRE; Goal Programming; MAUT; MCDA; MCDM; Multiattribute; Multi-attribute; Multicriteria; Multiobjective; TOPSIS; PROMETHEE*

Fonte: O autor (2018)

As buscas foram realizadas combinando as palavras-chave dos dois grupos distintos. Assim, cada uma das 8 palavras-chave do grupo de Finanças foi combinada com as 12 palavras-chave do grupo MCDM/A, com utilização do Operador Booleano "*AND*", totalizando 96 combinações de busca. Um total de 3.295 resultados foi encontrado incialmente. A partir desse conjunto inicial, filtros foram realizados sob regras pré-determinadas com o intuito de selecionar apenas artigos condizentes com a proposta da SLR.

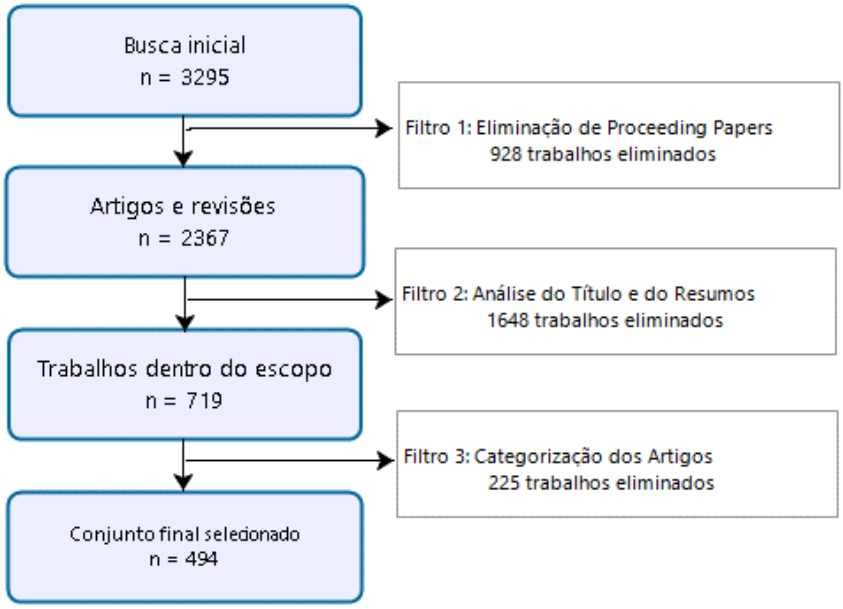
3.1.2.1 Processo de filtragem

Primeiramente, foi realizado um filtro com o intuito de retirar da análise os artigos provenientes de apresentações em congressos, categorizados como "*proceeding papers*". Esse filtro objetivou concentrar na revisão os trabalhos de maior relevância acadêmica, categorizados como "*article*" e "*review*" na plataforma de pesquisa. Foram observados trabalhos provenientes de apresentações em congressos que posteriormente foram publicados em revistas científicas, sendo esses considerados na análise. Um total de 2.367 trabalhos passaram pelo Filtro 1.

Um segundo filtro foi realizado com a leitura dos títulos e resumos dos artigos. Este filtro teve o intuito de eliminar de maneira mais rápida trabalhos que fugiam completamente do escopo da revisão. Foi encontrada, por exemplo, uma grande quantidade de trabalhos em campos de pesquisa que envolviam saúde/medicina. Esses trabalhos eram provenientes principalmente de palavras-chave como "*country risk*" e "*goal programming*". Além disso, foram observados trabalhos que avaliavam empresas sob um ponto de vista não financeiro, como por exemplo estudos de performance de universidades, ou de pesquisa e desenvolvimento dentro das organizações. Um total de 719 artigos científicos foram selecionados no Filtro 2.

Um último filtro foi realizado durante a categorização e análise completa dos artigos. Percebiam-se artigos que abordavam finanças, porém não realizavam aplicações/análises multicritério. Também foram encontrados artigos que tratavam de análises com apoio a decisão multicritério, mas que não utilizavam nenhum critério financeiro nessa análise. Esses trabalhos foram desconsiderados da presente revisão sistemática. Por fim, um conjunto final de 494 artigos foi selecionado no Filtro 3, sendo estes categorizados e analisados de acordo com a proposta do presente trabalho. A Figura 3.1 a seguir ilustra resumidamente o processo de aplicação dos filtros no conjunto inicial de artigos.

Figura 3.1 – Processo de Filtragem



Fonte: O autor (2018)

3.2 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo buscou estruturar e apresentar as regras a serem utilizadas na revisão sistemática apresentada no trabalho, além do conjunto de *research questions* a serem estudadas. Uma revisão sistemática do estado da arte da literatura que segue uma metodologia clara e estruturada tem maior peso e é mais capaz de contribuir com outros pesquisadores da comunidade acadêmica, ou do ambiente empresarial, com uma fonte de pesquisa sobre a temática abordada. Além disso, o trabalho pode guiar pesquisadores a ideias e avanços nas áreas de pesquisa apresentadas na revisão sistemática.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Esse capítulo apresenta os resultados obtidos com o processo de revisão sistemática da literatura, a partir da aplicação da metodologia de pesquisa apresentada no Capítulo 3 desta dissertação. A análise de resultados é a última etapa da metodologia.

4.1 NÚMERO DE PUBLICAÇÕES E CITAÇÕES

Inicialmente, com o objetivo de responder as duas primeiras *research questions*, foi realizada uma categorização conjunto de artigos em relação ao ano de suas publicações a suas citações ao longo dos anos. A Tabela 4.1, a seguir, sumariza essas informações.

Tabela 4.1 – Evolução de Publicações e Citações por ano

Ano	***Número de Publicações***	***Citações***
2000	7	4
2001	8	7
2002	5	12
2003	4	21
2004	9	38
2005	12	61
2006	10	86
2007	10	121
2008	18	170
2009	27	301
2010	32	373
2011	32	510
2012	43	557
2013	48	722
2014	62	825
2015	56	1096
2016	70	1367
2017 (Agosto)	41	741
TOTAL	**494**	**7012**

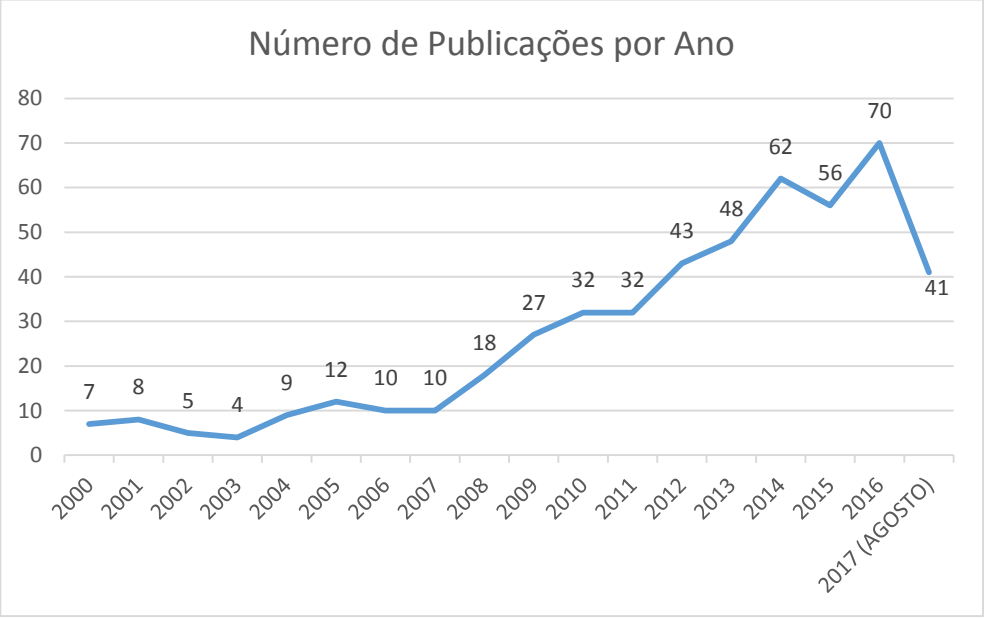
Fonte: O autor (2018)

É notável um crescimento no número de publicação ao longo dos anos. A Figura 4.1 ilustra os resultados da categorização dos artigos em relação ao ano de publicação através de um gráfico de linha, onde percebe-se uma tendência crescimento do número de publicações ao longo do século. Um crescimento mais acentuado acontece a partir do ano de 2008 causado, possivelmente, pelo início do período de crise financeira no final da última década, causado por

uma bolha imobiliária nos Estados Unidos e pela quebra de bancos de investimentos americanos, que desencadearam uma pane no sistema financeiro de vários países.

O ano de 2016 obteve o maior número de artigos categorizados, com um total de 70 publicações. Nos primeiros sete meses de 2017, já haviam sido publicados 41 artigos, superando o total de publicações no ano de 2011 e nos anos anteriores. Assim, é razoável esperar que no ano completo de 2017, que não é analisado na presente SLR, o número de publicações supere ou pelo menos se aproxime do número encontrado para 2016. Dessa forma, pode-se responder positivamente a RQ#1.

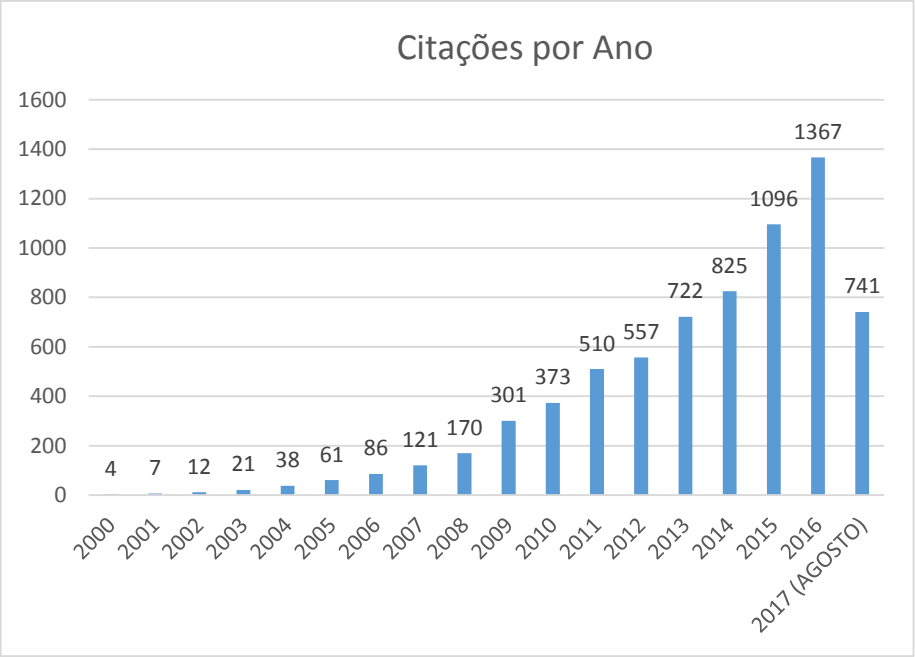
Figura 4.1 – Número de Publicações X Ano



Fonte: O autor (2018)

Com relação à RQ#2, a Figura 4.2 ilustra a evolução do número de citações aos artigos catalogados e uma tendência de crescimento exponencial pode ser notada visualmente. Percebe-se, assim, um crescimento da relevância do tema na análise científica neste século. O aumento do número de publicações eleva as discussões sobre os temas, além disso, os artigos não deixam de ser citados com o passar dos anos. Em 2016, os artigos categorizados receberam número expressivo de 1367 citações, demonstrando a preocupação dos autores com o estado da arte da área, o fato de que os artigos permanecem sendo citados ao longo dos anos, e também a facilidade de obter artigos mais recentes com a publicação on-line prévia das revistas.

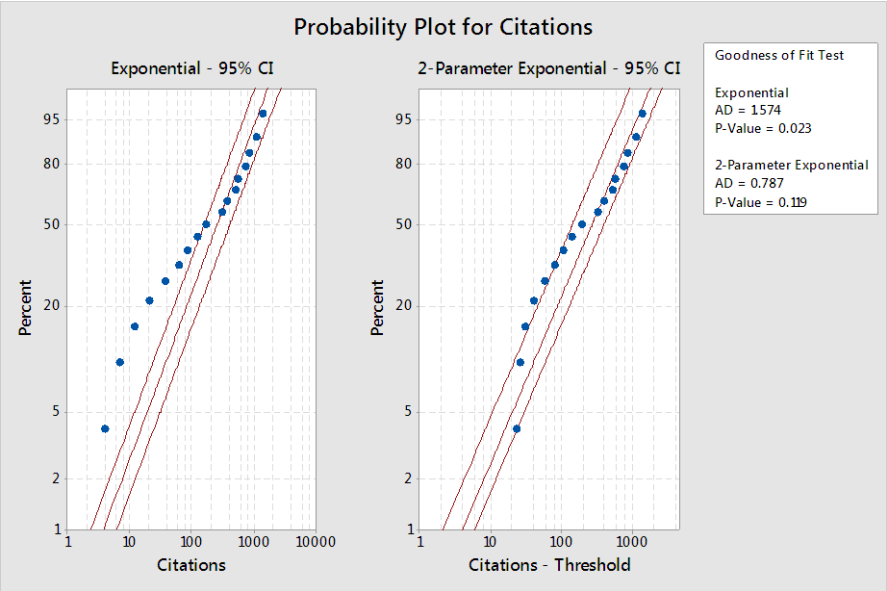
Figura 4.2 – Número de Citações por ano



Fonte: O autor (2018)

Para confirmar esta suposição, um teste de aderência do crescimento do número de citações para dois tipos de distribuição exponencial foi realizado com utilização do software Minitab. Os resultados demonstraram que os valores são bem explicados por uma distribuição exponencial de dois parâmetros, com um *p*-v*alue* de 0.12, conforme apresenta a Figura 4.3.

Figura 4.3: Aderência do Número de Citações à Distribuição Exponencial



Fonte: O autor (2018)

4.2 CATEGORIZAÇÃO DOS ARTIGOS - REVISTAS CIENTÍFICAS

A RQ#3 está diretamente relacionada às revistas científicas que são responsáveis pelas publicações dos artigos envolvendo MCDM/A em finanças, sendo apresentada novamente a seguir e, em seguida, estudada. A maioria dessas revistas científicas (129 representando 63% do total) são responsáveis por apenas uma publicação da revisão sistemática. A Tabela 4.2, a seguir, apresenta o número e a porcentagem de revistas científicas de maneira agregada de acordo com o número de publicações pelas quais são responsáveis.

Tabela 4.2 – Número e Percentual de Revistas por Quantidade de Publicações

PUBLICAÇÕES	NÚMERO DE REVISTAS	% REVISTAS
1	129	62,93%
2	35	17,07%
3	16	7,80%
4	5	2,44%
5	5	2,44%
6	2	0,98%
7	2	0,98%
9	3	1,46%
10	2	0,98%
12	1	0,49%
13	1	0,49%
14	2	0,98%
35	1	0,49%
41	1	0,49%
TOTAL	**205**	**100%**

Fonte: O autor (2018)

Analisando a Tabela 4.2, nota-se que cerca de 90,24% das revistas científicas publicaram 4 ou menos artigos científicos. Isso retrata a abrangência das áreas de Finanças e Multicritério, onde autores podem buscar revistas mais específicas que tratam de determinado tipo de metodologia, ou revistas específicas em relação à campo onde pode existir determinado problema financeiro que deva ser tradado sob mais deum critério.

Uma análise mais específica foi realizada nas revistas científicas que possuem pelo menos 5 publicações. A Tabela 4.3 ilustra a quantidade de artigos publicados por cada uma dessas 20 fontes, a porcentagem do total de 494 publicações, a média, máximo, mínimo (desconsiderando 2017), a mediana das citações, o número médio de citações recebidas por artigo em cada ano, além do fator de impacto de cada revista para o ano de 2016 e o fator de impacto médio dos últimos 5 anos. É importante ressaltar que os artigos publicados nessa área

superam o fator de impacto em 2016 e o fator de impacto médio dos últimos 5 anos na grande maioria das revistas, não acontecendo em apenas três casos dentre as 20 fontes.

Tabela 4.3 – Estatísticas das Revistas Científicas

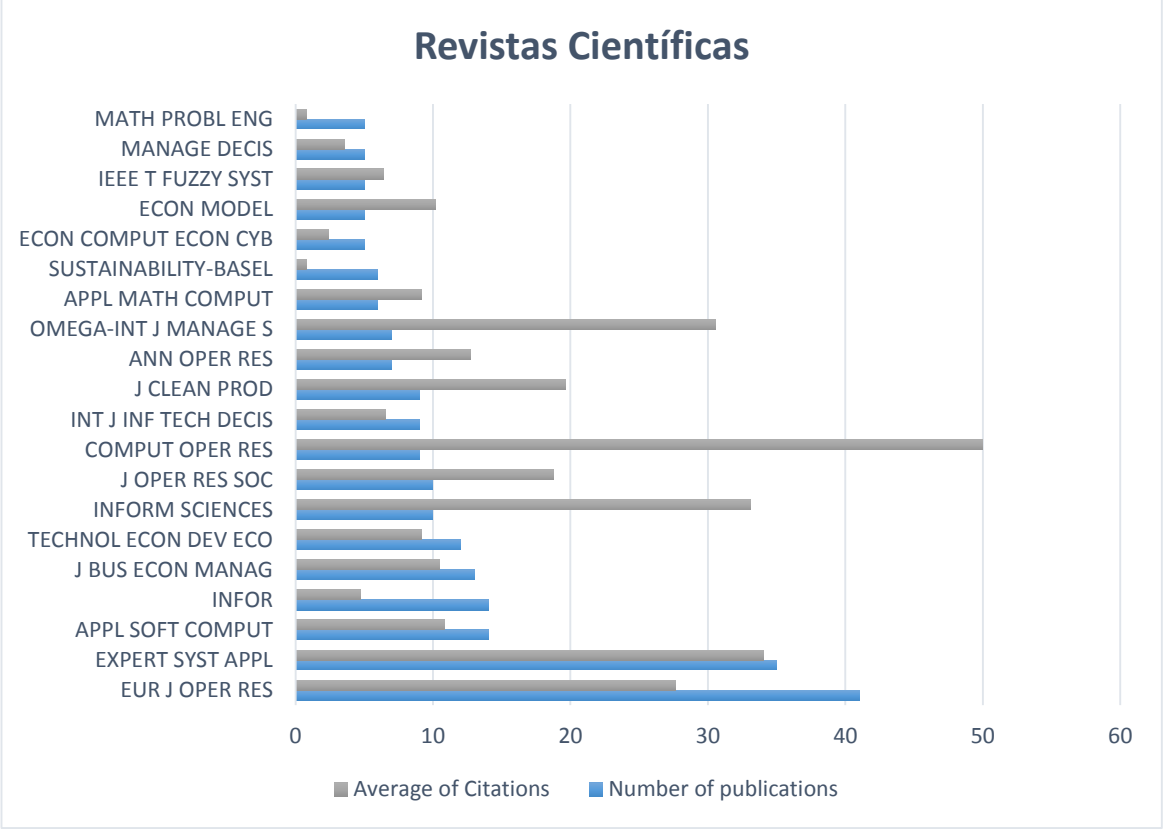
Revista Científica	Quantidae	%	Média de Citações por Artigo	Mediana	Max	Min (Excluindo artigos publicados em 2017)	Média de Citações por artigo/ano	Fator de Impacto (2016)	Fator de Impacto – 5 anos
EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	41	8,30%	27,63	14	140	1	2,96	3,297	3,582
EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS	35	7,09%	34,06	17	173	0	4,19	3,928	3,526
APPLIED SOFT COMPUTING	14	2,83%	10,86	5,5	51	1	2,13	3,541	3,811
INFOR	14	2,83%	4,71	1,5	16	0	0,52	0,189	0,429
JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT	13	2,63%	10,46	5	46	0	1,62	0,968	1,045
TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY	12	2,43%	9,17	5,5	34	0	2,17	2,628	2,706
INFORMATION SCIENCES	10	2,02%	33,10	18,5	105	5	5,95	4,832	4,732
JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY	10	2,02%	18,80	4,5	86	0	1,85	1,077	1,552
COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	9	1,82%	50,00	19	299	0	4,15	2,6	2,829
INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING	9	1,82%	6,56	1	42	0	0,75	1,664	1,632
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	9	1,82%	19,67	6	126	1	4,91	5,715	6,207
ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH	7	1,42%	12,71	3	65	0	1,55	1,709	1,918
OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE	7	1,42%	30,57	28	50	13	4,07	4,029	4,671
APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATION	6	1,21%	9,17	4,5	31	2	0,89	1,738	1,702
SUSTAINABILITY	6	1,21%	0,83	0	3	2	0,42	1,789	1,85
ECONOMIC COMPUTATION AND ECONOMIC CYBERNETICS STUDIES AND RESEARCH	5	1,01%	2,40	3	5	0	0,64	0,299	0,24
ECONOMIC MODELLING	5	1,01%	10,20	11	25	11	2,02	1,463	1,565
IEEE TRANSACTIONS	5	1,01%	6,40	8	14	8	1,67	7,671	8,29

ON FUZZY SYSTEMS									
MANAGEMENT DECISION	5	1,01%	3,60	2	9	0	0,81	1,396	2,515
MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING	5	1,01%	0,80	0	3	0	0,27	0,802	0,902

Fonte: O autor (2018)

A Figura 4.4 ilustra, graficamente, a relação de revistas científicas organizadas de acordo com o número de publicações e o número médio de citações recebidas pelos seus respectivos artigos. Analisando os resultados, destaca-se a revista "*Computer and Operations Research*" com uma grande média de citações recebidas pelos seus nove artigos. Além da maior média de citações, a revista obteve também a segunda maior mediana e o artigo com maior número de citações, como descrito na Tabela 4.2. A revista com maior número de artigos publicados na área é a "*European Journal of Operations Research*", responsável por cerca de 8,3% do total de publicações.

Figura 4.4 – Estatísticas – Principais Revistas



Fonte: O autor (2018)

Examinando as áreas de pesquisa indicadas na base de dados do *Web of Science* para as 20 revistas científicas mais relevantes percebeu-se que as áreas com maior atuação dessas

revistas são Pesquisa Operacional (campo: *Operations Research & Management Science*), e Ciências da Computação (campos: *Computer Science Artificial Intellingence*; *Computer Science Interdisciplinary Applications*; e *Computer Science Information Systems*). Outras áreas de atuação citadas são: Engenharia (campos: *Electrical & Electronic Engineering*; *Industrial Engineering*; *Environmental Engineering; e Multidisciplinary Engineering*), Economia (campo: *Economics*), Matemática (campos: *Applied Mathematics*; Mathematics *Interdisciplinary Applications*), Negócios (campos: *Business; e Management*), e Sustentabilidade (campos: *Environmental Science*; e *Green & Sustainable Science & Technology*). A Tabela 4.4 a quantidade de revistas, dentre as 20 mais relevantes para essa pesquisa, relacionadas à diferentes áreas de estudo. Portanto, pode-se responder positivamente a RQ#3.

Tabela 4.4: Número de Revistas por Área de Atuação

Área	**Número de Revistas Relevantes Relacionadas**
Pesquisa Operacional	8
Ciências da Computação	7
Engenharia	5
Matemática	3
Economia	3
Administração	2
Sustantabilidade	2

Fonte: O autor (2018)

4.3 CATEGORIZAÇÃO DOS ARTIGOS - ÁREAS FINANCEIRAS

Para responder RQ#4 artigos foi categorizados de acordo com os diversos campos de Finanças que recebem apoio de abordagens e modelos multicritério. A escolha das áreas em que os artigos foram classificados foi realizada com base em Zopounidis et al. [1]. Os artigos foram alocados em 12 diferentes áreas de tomada de decisão em finanças, ilustradas resumidamente na Tabela 4.5. Cada artigo foi alocado apenas a uma das áreas consideradas, não existindo assim duplicações nessa análise.

Tabela 4.5 – Descrição das Áreas Financeiras

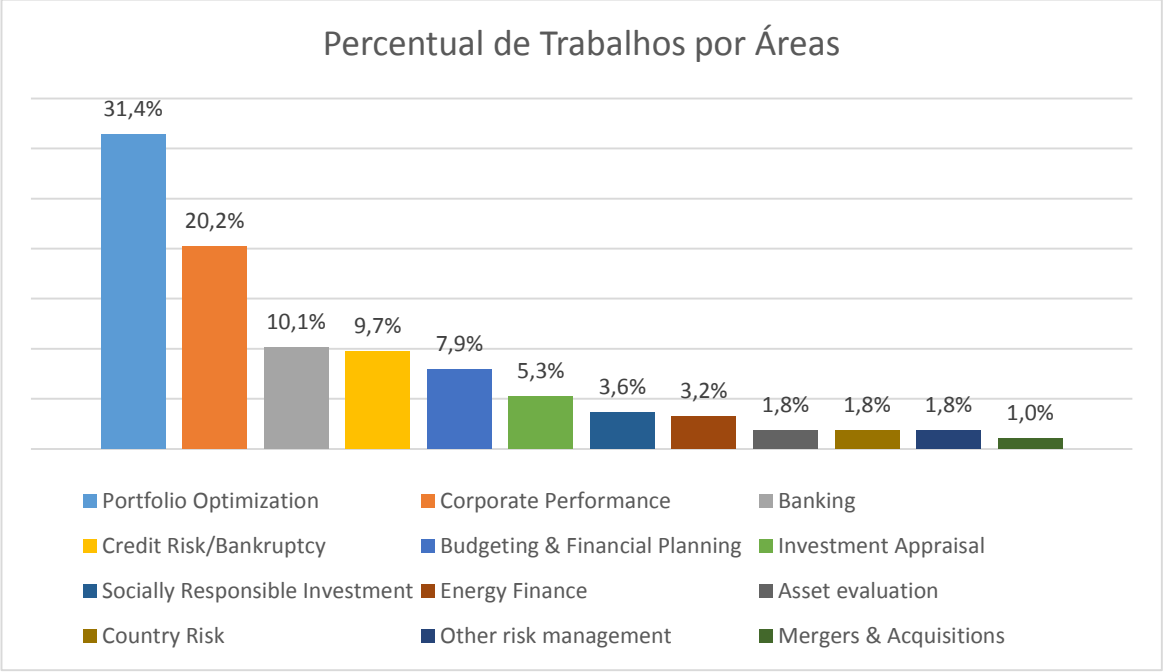
Área	N	Descrição
Portfolio Optimization	155	Seleção de carteiras de investimentos através de abordagens de otimização, normalmente envolvendo restrição orçamentária. Tem sua base na Teoria Moderna do Portfólio.
Corporate Performance	100	Análises de performances financeiras de diferentes tipos de empresas. Envolvem critérios de cobertura, lucratividade, crescimento, liquidez, fluxo de caixa, entre outros.
Banking	50	Relacionado a performance e atividades de instituições bancárias de maneira geral, com análise de crédito, análise de estabilidade financeira, etc. O gerenciamento bancário é uma das principais áreas abordadas em MCDM/A.
Credit Risk/Bankruptcy	48	Estudos relacionados ao risco de inadimplência e ao risco de falência de organizações públicas e privadas de diferentes áreas.
Budgeting & Financial Planning	39	Estudos sobre a melhor forma de alocação de recursos pessoais/organizacionais dentre diferentes projetos, alternativas. Envolvem em muitos casos o fator temporal.
Investment Appraisal	26	Análises sobre projetos de investimentos com o intuito aprofundamento de conhecimento sobre diferentes alternativas de utilização de recursos. Muito comum no dia-a-dia de empresas e investidores individuais.
Socially Responsible Investment	18	Envolve a análise de investimentos com a inserção de aspectos relacionados ao impacto social/ambiental das diversas alternativas. Existem situações em que pode ser vista como um caso particular da área de "Portfolio Optimization" ou de "Investment Appraisal".
Energy Finance	19	Envolve precificação, operações financeiras e de mercado, além de gerenciamento de portfólio envolvendo commodities do campo energético.
Asset Evaluation	9	Avaliação de ações, títulos e ativos em geral que podem compor uma carteira de investimentos. Essa avaliação pode envolver critérios fundamentalistas e técnicos.
Country Risk	9	Envolve o risco de inadimplência e de falência de países/governos. Está relacionado, entre outros fatores, a investimentos em títulos soberanos internacionais. Envolve fatores macroeconômicos e políticos.
Other Risk Management	9	Análises multicritério envolvendo riscos seleção de projetos, riscos políticos, estruturais, que incorporam na análise critérios financeiros.
Mergers & Acquisitions	5	Análises envolvendo os critérios utilizados por empresas em processos de aquisição ou fusões de empresas.

Fonte: Zopounidis et al. [1].

No total, 484 artigos foram alocados em uma das 12 áreas citadas na tabela acima. Os 10 artigos restantes não foram alocados por se tratarem de revisões de literatura que abordam finanças de maneira geral ou por envolverem aplicações em mais de uma das áreas de finanças listadas. A Figura 4.5 apresenta graficamente a porcentagem de artigos alocados a cada área de finanças. Percebe-se um maior número de artigos classificados dentro do campo de estudos de

Otimização de Portfólio. No total, 155 artigos tratam desse tema, incluindo diversos tipos de abordagens e métodos, como Otimização Multiobjetivo, *Goal Programming*, Algorítimos Evolucionários, dentre outros. A análise de Performance Corporativa aparece também com uma grande quantidade de artigos publicados, representando 20,2% do total de alocações. Assim, pode-se responder positivamente a RQ#4. Diante do exposto, pode-se dizer que há artigos publicados em todas as 12 áreas, mas com clara tendência para as 5 primeiras, onde a concentração chega a quase 80% do total de artigos analisados.

Figura 4.5 – Frequências de trabalhos nas áreas financeiras



Fonte: O autor (2018)

A Tabela 4.6, abaixo, apresenta as alocações realizadas dentre os 12 diferentes tipos de abordagens financeiras considerados. A penúltima linha da tabela, intitulada "Outros", apresenta os artigos que não foram alocados a uma determinada área. Os 494 artigos citados nessa tabela formam o conjunto completo referente à presente revisão sistemática da literatura.

Tabela 4.6 – Distribuição de Artigos por Área de Estudo

FIELD	N	PUBLICATIONS
PORTFOLIO OPTIMIZATION	155	[7]–[9], [11], [31]–[181]
CORPORATE PERFORMANCE	100	[16], [182]–[280]
BANKING	50	[12], [281]–[329]
CREDIT RISK/BANKRUPTCY	48	[330]–[377]
BUDGETING & FINANCIAL PLANNING	39	[378]–[416]
INVESTMENT APPRAISAL	26	[417]–[442]
SOCIALLY RESPONSIBLE INVESTMENT	18	[443]–[460]

FIELD	N	PUBLICATIONS
ENERGY FINANCE	16	[461]–[476]
ASSET EVALUATION	9	[477]–[485]
COUNTRY RISK	9	[486]–[494]
OTHER RISK MANAGEMENT	9	[495]–[503]
MERGERS & ACQUISITIONS	5	[504]–[508]
OUTROS	10	[1], [5], [6], [10], [509]–[514]
TOTAL	**494**	

Fonte: O autor (2018)

4.4 CATEGORIZAÇÃO DOS ARTIGOS - METODOLOGIAS MCDM/A

A RQ#5 pode ser confirmada, inicialmente, a partir da análise dos métodos/metodologias MCDM/A mais utilizados na área financeira. Nesse contexto, há uma grande variedade de aplicações com diferentes métodos foi encontrada. Destaca-se a o uso de abordagens híbridas com metodologias Fuzzy e Gray Relation Analysis (GRA), que apesar de não serem métodos multicritério, trabalham frequentemente em conjunto com outros métodos a partir de modelos híbridos, que envolvem mais de um critério e apoiam decisores em problemas financeiros. Em particular Fuzzy é uma ferramenta adequada para situações envolvendo a utilização de variáveis linguísticas, tendo grande aplicabilidade em diferentes tipos de decisão [515]. Analisando as informações provenientes da Tabela 4.7, percebe-se uma vasta utilização de ferramentas Fuzzy em diferentes áreas de finanças, com essa abordagem estando presente em 121 diferentes artigos. Assim, um grande número de artigos que integram Fuzzy com a utilização de métodos multicritério em apoio a decisões financeiras foi encontrado e a RQ#5 é respondida positivamente.

As RQ#6 e 7 foram formuladas com o intuito de analisar a existência de prevalência na escolha de métodos de AMD para áreas específicas de finanças. Assim, a RQ#6 questiona a existência de prevalência para a área de Performance Corporativa, enquanto que a RQ#7 para a área de Otimização de Portfólio. Essas duas áreas foram escolhidas por agruparem o maior número de aplicações de análises AMD, representando inclusive mais de 50% da amostra. A Tabela 7 apresenta a frequência de utilização das diferentes metodologias MCDM/A em modelagem financeira.

Tabela 4.7 – Metodologias Multicritério X Áreas de Estudo

Metodologia	PO	CP	Bank	CR	B&FP	IA	SRI	EF	AE	CR	Other Risk	M&A	TOTAL
Hybrid Fuzzy	37	36	11	10	7	9	4	2	2	2	0	1	**121**
AHP	4	33	12	16	8	6	5	3	2	0	3	2	**94**
MO	60	1	3	0	7	0	5	7	0	0	1	0	**84**
TOPSIS	5	29	13	8	4	2	4	3	1	2	3	0	**74**
MOEA	47	0	1	5	7	1	0	0	0	0	0	0	**61**
Goal Prog.	31	3	2	4	4	3	4	1	0	0	0	0	**52**
VIKOR	1	13	3	1	3	1	0	0	1	1	0	1	**25**
ANP	2	10	3	1	2	4	2	0	0	0	0	1	**25**
DEMATEL	2	11	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	**18**
PROMETHEE	1	7	2	1	0	1	1	1	1	2	0	0	**17**
DEA	1	5	7	2	0	0	0	1	0	0	0	0	**16**
UTADIS	2	1	3	2	1	0	0	0	0	2	0	1	**12**
DRSA	1	4	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	**10**
ELECTRE	1	1	1	3	0	0	0	0	2	2	0	0	**10**
Hybrid GRA	0	5	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	**10**
DELPHI	0	4	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	**9**
COPRAS	0	4	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	**8**
Additive Model	0	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	**6**
MACBETH	0	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	**6**
SAW	0	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	**6**
MAUT	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	**5**
M.H.DIS	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	1	**5**

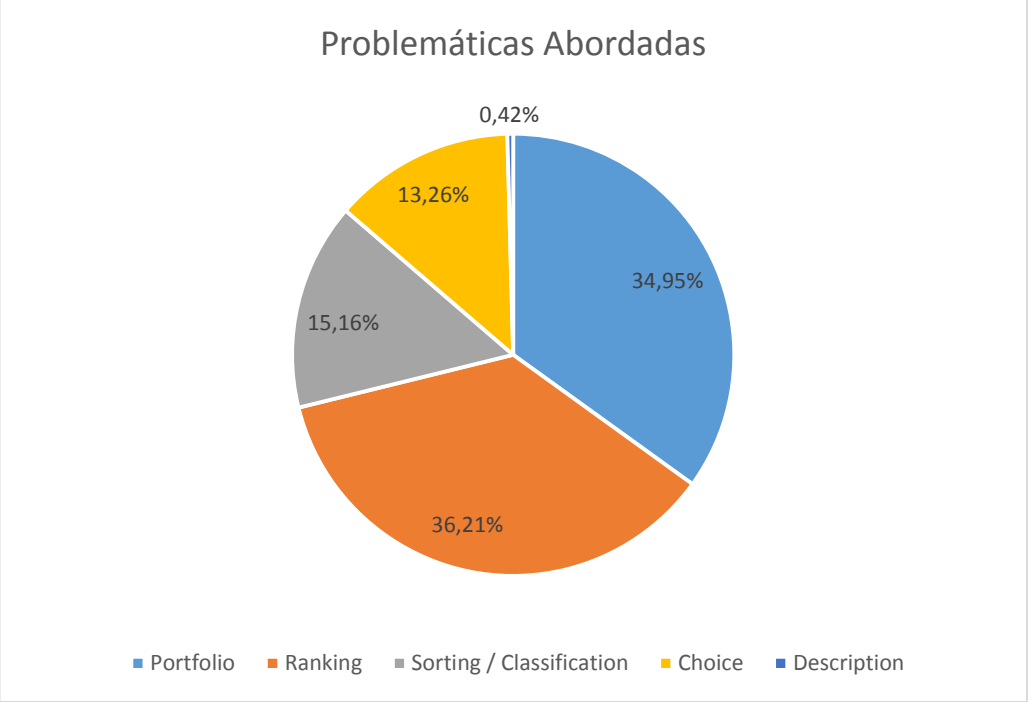
Fonte: O autor (2018)

De acordo com a Tabela 4.7, pode-se responder positivamente a RQ#7, pois existe prevalência entre os métodos para a modelagem de Performance Corporativa, percebe-se que os métodos de critério único de síntese AHP e TOPSIS são bastante utilizados em problemas de avaliação de desempenho organizacional para ranquear empresas de acordo com indicadores de desempenho que representam os objetivos do(s) decisor(es). Além disso, pode-se também responder positivamente a RQ#7, pois também existe prevalência para modelagem de portfolio de investimentos, onde verificou-se a predominância das ferramentas de otimização multiobjetivo, algoritmos evolucionários para otimização multiobjetivo, e *Goal Programming*.

Levando em consideração apenas a área de *Banking*, mais uma vez se percebe uma prevalência pelos métodos AHP e TOPSIS. Assim, dando continuidade a avaliação das RQ propostas, a RQ#8 foi formulada para avaliar se existe uma forte associação entre as diferentes áreas de finanças e as diferentes metologias MCDM/A utilizada para abordar o problema. Conforme já demostrando, ver Tabela 4.7, essa *research question* é respondida positivamente.

De modo a responder RQ#9, os artigos também foram categorizados em relação às problemáticas abordadas em seus modelos de decisão multicritério. A Figura 4.6, a seguir, ilustra as porcentagens de artigos que abordam as diferentes problemática MCDM/A. Observa-se que as problemáticas de ordenação e portfólio foram as mais utilizadas na amostra. É importante destacar que, apesar da área de finanças mais utilizada ser a de otimização de portfólio, a problemática de ranking possui maior representatividade nos artigos. Isso resulta da grande utilização da problemática de ranking em áreas de finanças, tais como *Corporate Performance* e *Banking*, a partir de métodos como AHP e TOPSIS (ver Table 4.7). Assim, RQ#9 é respondida positivamente.

Figura 4.6: Frequência das Problemáticas Abordadas



Fonte: O autor (2018)

4.5 CATEGORIZAÇÃO DE ARTIGOS - CRITÉRIOS

A RQ#10 apresenta um questionamento quanto à existência de prevalência entre os critérios utilizados nos métodos MCDM/A para problemas financeiros. Com o intuito de verificar essa questão, realizou-se uma análise aprofundada nos artigos buscando informações sobre os tipos de critérios utilizados. Inicialmente, diante da quantidade e diversidade dos critérios apresentados na literatura foi necessário realizar categoriza-los para responder a RQ#10. Destaca-se que esse tipo de análise não foi realizado em revisões anteriores,

representando assim, uma contribuição para a literatura. A seguir, 17 categorias de critérios são apresentadas.

- Rentabilidade – Engloba os critérios relacionados a retorno e lucratividade. Critérios típicos envolvendo retorno financeiro são: receita; dividendos, lucro por ação, retorno sobre ativo, lucro antes do imposto de renda, dentre outros. Eles indicam o quanto o investimento renderá ou está rendendo em termos financeiros. Com relação aos critérios envolvendo lucratividade, exemplos de indicadores são: margem de lucro operacional, margem de lucro bruto, valor presente líquido. Os critérios de lucratividade permitem aos analistas estudarem o lucro de diferentes firmas com relação a suas vendas, aos seus ativos, ou aos seus próprios investimentos, sendo estes indicados em termos percentuais ou em termos de capital [13]. Critérios mais modernos dentro do quadro de rentabilidade também foram encontrados, como é o caso do valor econômico adicionado e do valor de mercado adicionado.
- Risco – Os critérios relacionados a riscos envolvem uma grande diversidade de indicadores. Na Teoria Moderna do Portfólio [3], o risco de portfolios de investimentos pode ser medido a partir da variância, desvio padrão, ou coeficiente de dispersão. Tais medidas envolvem a noção de covariância entre os ativos presentes no portfólio. Medidas de *Value-at-risk*, coeficiente Beta, "*Skeweness*", dentre outras, são também encontradas em análises de seleção de portfólios. Além dessas medidas mais tradicionais do risco, essa categoria também engloba indicadores de risco político, risco-país, riscos macroeconômicos, etc.
- Liquidez – Essa categoria envolve critérios como liquidez corrente, liquidez a seco, índice de responsabilidade, entre outros. A categoria Liquidez está relacionada à habilidade das empresas de satisfazerem as suas respectivas obrigações de curto prazo [13]. Existe, nesse caso, um foco sobre o capital de giro das empresas. Esses critérios são vastamente utilizados na área de Corporate Performance. Na área de *Portfolio Optimization*, os critérios de liquidez envolvem, na prática, a facilidade encontrada pelos investidores de monetizarem seus ativos de maneira rápida.
- Custo/Orçamento: Essa categoria engloba os critérios relacionados ao custo envolvido nas alternativas da decisão multicritério, além de critérios orçamentários (restringentes das aplicações financeiras).
- Alavancagem Financeira/Débito: Essa categoria envolve critérios de cobertura e débito na avaliação financeira de empresas de diversos ramos de atividade. Segundo Gitman

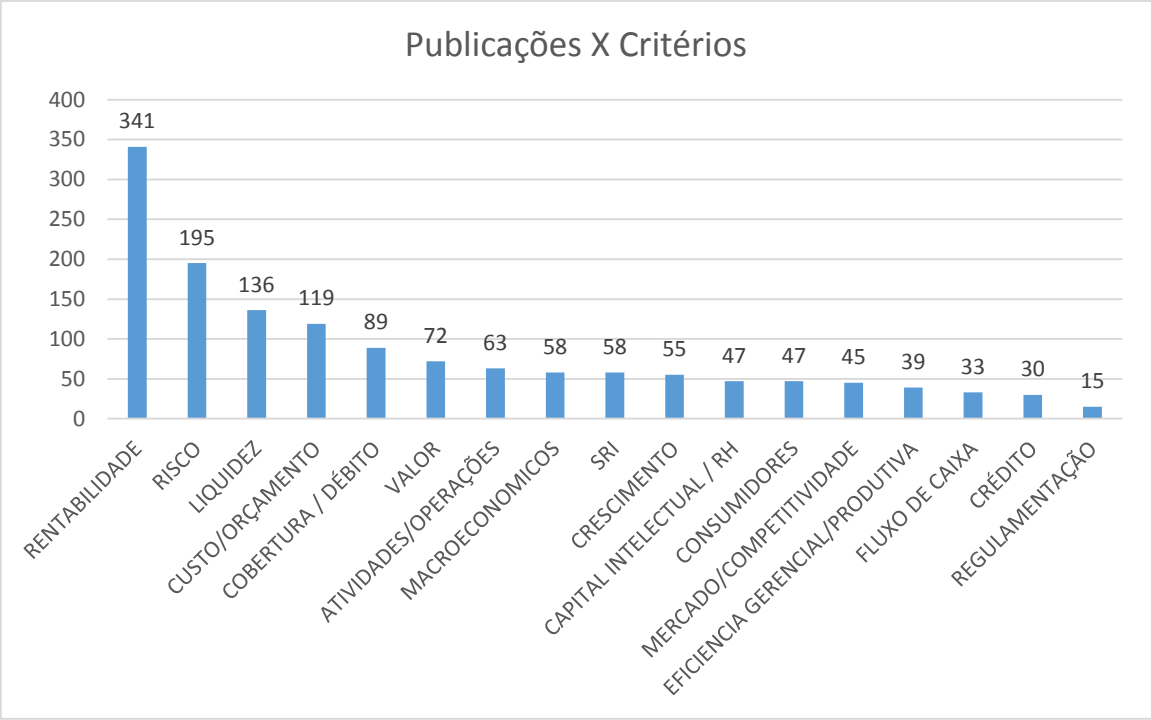
& Zutter [13], quanto maior a alavancagem financeira, maior o potencial de risco e retorno da organização. Os critérios dessa categoria envolvem aspectos da estrutura financeira da organização, com a análise de quanto do capital da organização é pertencente a terceiros, e aspectos relacionados à capacidade da empresa cumprir com seus compromissos fixos. Exemplos de critérios encontrados na literatura são: *Debt Ratio, Long Term Debt Ratio, Net Loan Ratio, Coverage Ratio, Cash Flow/Total Debt*, dentre outros.

- Valor – Essa categoria está relacionada a critérios que procuram estabelecer o valor de mercado de empresas ou de ativos financeiros cotados na bolsa para investimentos. Alguns critérios importantes pertencentes a essa categoria são as relações: *Price/Earnings; Price/Sales; Price/Operating Income; Price/Cash Flow*.
- Atividade/Operações – Essa categoria envolve critérios relacionados à velocidade com que as contas de capital da empresa podem ser transformadas em caixa ou vendas, medindo assim, a eficiência das operações e relacionando-se, primordialmente, com medidas de giro financeiro [13]. *Operating Assets Turnover, Fixed Assets Turnover, Total Assets Turnover, Inventory Turnover* são indicadores muito utilizados em artigos que englobam essa categoria de critérios.
- Macroeconômicos – Envolvem uma grande variedade de indicadores macroeconômicos, sendo bastante utilizados em análises de investimentos e análises de risco de crédito de organizações e países/governos. Exemplos de critérios são: *GDP per capita; Sovereign Debt, Inflation Rate, Exportations & Importations; GNP per capita; Total Reserves, Political Stability*, dentre outros.
- Responsabilidade Social – São os critérios que envolvem o contexto de impacto social e ambiental na avaliação de investimentos, de empresas, e na seleção de portfólios socialmente responsáveis.
- Crescimento – Critérios utilizados para dar uma noção de crescimento das empresas são: *Growth Rate of Sales; Growth Rate of Property; Growth Rate of Assets; Annual Growth; Net Profit Growth*, etc.
- Capital Intelectual – Essa categoria envolve aspectos relacionados aos funcionários de uma organização. São bastante utilizados na avaliação de performance das empresas, além de avaliações de *Socially Responsible Investments*. Capacidade dos funcionários, treinamentos, remuneração, grau de escolaridade e satisfação são exemplos desse tipo de critério.

- Consumidos/Cliente – Categoria relacionada à satisfação dos clientes com o serviço prestado. Alguns indicadores são: *Customer Satisfaction*, *Retention Rate*; *Trust*, entre outros.
- Mercado/Competitividade – Categoria de critérios que estudam o quanto uma organização é representativa no mercado, além do grau de competitividade encontrado no mesmo. Exemplos de indicadores são: *Market Share*, *Market Potential*, *Competitiveness Degree*; e *Market Size*.
- Eficiência Gerencial e Produtiva – Esses critérios medem o quanto uma organização é bem gerida em termos administrativos e em termos operacionais/produtivos. Índices de eficiência e produtividade estão intimamente relacionados à capacidade de organizações serem lucrativas. Alguns exemplos de indicadores são: *Transaction Efficiency*; *Productivity Ratio*; *Cost to Income Ratio* (CIR), dentre outros.
- Fluxo de Caixa – Essa categoria representa critérios que analisam análises de caixa de organizações. Exemplos de critérios encontrados são: *Cash Flow Ratio*; *Cash Flow Reinvestment Ratio* e *Cash Flow to Net Income Ratio*.
- Crédito – Essa categoria envolve critérios de análises de crédito para empréstimos bancários, avaliação de crédito de empresas e países. Podem ser representados por dados históricos de crédito; *Loan Payment Capacity*; *Payment Taxes Capabilities*, critérios que envolvem características pessoais de aplicantes à análise de crédito etc.
- Regulamentação – Critérios envolvendo regulamentação imposta a organizações não-bancárias ou instituições bancárias. Exemplos de indicadores envolvendo esse tipo de análise são: *Capital Adequacy Ratio* (CAR); *Financial Banking Indexes*; TIER II capital; TIER I capital.

O gráfico de barras da Figura 4.7, a seguir, ilustra a quantidade de artigos que utilizam cada uma das 17 diferentes categorias de critérios descritas acima. Como esperado, devido a vasta aplicabilidade de modelos de seleção de portfólios de investimentos, as categorias mais utilizadas são as de rentabilidade e risco. Critérios de Rentabilidade apareceram em 341 artigos da análise, presentes em praticamente todas as áreas de finanças estudadas. Critérios de Liquidez e Alavancagem Financeira/Débito também são bastante utilizados, sendo indicativos da saúde financeira das organizações no curto e no longo prazo respectivamente.

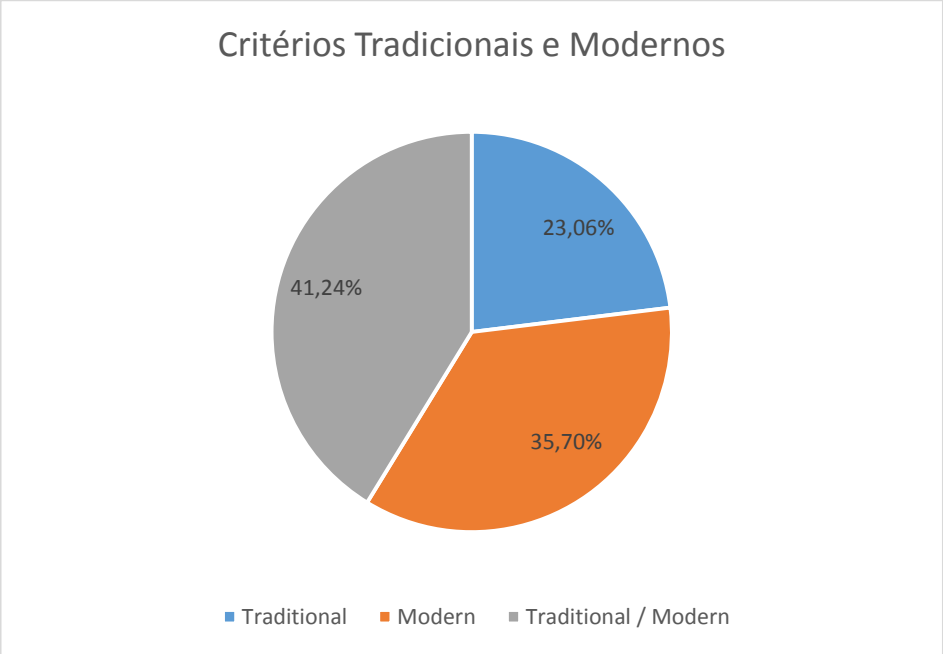
Figura 4.7: Frequência de Utilização dos Critérios



Fonte: O autor (2018)

Outra forma de categorizar os artigos de acordo com seus critérios utilizados é distinguindo entre artigos que utilizam critérios financeiros modernos, artigos que utilizam critérios tradicionais, e artigos que utilizam ambos. Os critérios financeiros tradicionais, envolvem indicadores clássicos da literatura de retorno e risco para seleção de portfólios de investimentos. Além disso, são ditos critérios tradicionais indicadores contábeis classicamente utilizados para a medição de retorno/lucratividade das organizações, como: *return on assets*, *return on equity*, *earnings per share*, *price earnings ratio* [16]. Como indicadores modernos, se enquadram indicadores de liquidez, débito, atividade organizacional, além de indicadores que medem valor adicionado como *economic value added* (EVA), *market value added* (MVA), dentre outros [16]. O Figura 4.8, a seguir, mostra a distribuição dos artigos dentre os três tipos de critérios financeiros descritos.

Figura 4.8: Critérios Tradicionais e Modernos



Fonte: O autor (2018)

4.6 CATEGORIZAÇÃO DOS ARTIGOS - AUTORES

Por fim, para responder a RQ#11, durante a categorização dos artigos, foram coletadas também informações sobre os autores. Um total de 1029 autores participaram das publicações, sendo a grande maioria deles (86,1%) co-autores de apenas uma publicação dentre as 494 analisadas. A Tabela 4.8 abaixo apresenta a relação entre número de publicações e número de autores.

Tabela 4.8 – Número de Autores por Quantidade de Publicações

Publicações	Número de Autores
24	1
18	1
13	1
11	1
9	2
8	2
7	2
6	3
5	11
4	17

Publicações	Número de Autores
3	33
2	69
1	886
TOTAL	1029

Fonte: O autor (2018)

A Tabela 4.9 apresenta os autores com maior quantidade de artigos analisados na presente SLR. Dentre as métricas apresentadas para esses autores estão o número de publicações, o número máximo, mínimo e médio de citações, além do número de artigos que receberam mais de 10 citações. Estão presentes nessa tabela, os autores com pelo menos 5 publicações.

Tabela 4.9 – Principais Autores

Author	Publications	CITAÇÕES			
		Max	Min	Média	≥10
Zopounidis, Constantin	24	50	0	15.54	16
Doumpos, Michael	18	48	0	15.33	12
Tzeng, Gwo-Hshiung	13	107	2	24.85	7
Mehlawat,Mukesh Kumar	11	71	0	14.27	5
Gupta, Pankaj	9	71	1	16.89	5
Shen, Kao-Yi	9	26	0	8.33	3
Ferreira, Fernando A. F.	8	21	0	9.75	3
Bilbao-Terol, Amelia	8	26	0	10.25	6
Perez-Gladish, Blanca	7	34	0	11.43	5
Santos, Sergio P.	7	21	0	11.14	3
Arenas-Parra, Mar	6	34	0	13.83	4
Mavrotas, George	6	20	0	11.50	4
Mittal, Garima	6	21	0	9.33	3
Barros, C. P.	5	3	0	1.20	0
Garcia, Fernando	5	11	0	5.60	1
Guijarro, Francisco	5	11	0	5.60	1
Isasi, Pedro	5	6	0	2.00	0
Kou, Gang	5	105	0	34.40	3
La Torre, Davide	5	27	0	9.20	2
Lin, Chin-Tsai	5	31	1	8.20	1
Pasiouras, Fotios	5	136	0	30.20	2
Peng, Yi	5	105	0	34.40	3
Quintana, David	5	6	0	2.00	0
Wanke, Peter	5	3	0	1.20	0

Fonte: O autor (2018)

Como apresentado na Tabela 4.9, dentre os principais autores, quatro são co-autores em mais de 10 artigos, são eles: Zoupounidis, Doumpos, Tzeng e Mehlawa. Uma tabela de frequências é ilustrada a seguir com a relação entre esses autores e as 17 categorias de critérios analisadas.

Tabela 4.10 – Tabela de Frequências: Autor X critério

Criteria/Author	Zopounidis	Doumpos	Tzeng	Mehlawat
CUSTO / ORÇAMENTO	29,17%	25,00%	16,67%	25,00%
FLUXO DE CAIXA	4,17%	4,17%	8,33%	4,17%
RENTABILIDADE	79,17%	54,17%	37,50%	33,33%
RISCO	41,67%	25,00%	4,17%	12,50%
ALAVANCAGEM/DÉBITO	20,83%	16,67%	8,33%	12,50%
LIQUIDEZ	37,50%	20,83%	25,00%	16,67%
MACROECONOMICOS	12,50%	12,50%	4,17%	0,00%
GROWTH	12,50%	8,33%	8,33%	0,00%
ACTIVITIES/OPERATIONS	16,67%	16,67%	8,33%	8,33%
CRÉDITO	8,33%	8,33%	0,00%	4,17%
SRI	4,17%	4,17%	0,00%	8,33%
CAPITAL INTELECTUAL	12,50%	12,50%	12,50%	4,17%
EFICIÊNCIA GERENCIAL	8,33%	8,33%	8,33%	4,17%
VALOR	12,50%	12,50%	8,33%	8,33%
REGULATOMENTADOR	0,00%	4,17%	0,00%	0,00%
MERCADO/COMPETITIVIDADE	4,17%	4,17%	8,33%	0,00%
CONSUMIDORES	12,50%	12,50%	8,33%	0,00%

Fonte: O autor (2018)

Com o intuito de verificar mais diretamente a RQ#11, relacionada à relação entre autores e categorias de critérios, a aplicação de um teste estatístico é apresentada a seguir. Nesse sentido, análises mais detalhadas foram realizadas com o intuito de estudar a existência ou não de correlação entre os tipos de critérios utilizados nos artigos e os autores responsáveis pelos mesmos. Para isso, foram utilizadas publicações dos autores com pelo menos 5 trabalhos categorizados no presente estudo e o método estatístico de Cramer`s V^2. Essa análise busca explicar se existe correlação entre variáveis nominais, resultando em um valor dentro do intervalo entre 0 e 1, onde 1 representa uma associação muito forte entre as variáveis. O Software Minitab foi utilizado para a análise. Os resultados demonstraram baixa correlação entre as variáveis, indicando que os autores não possuem vícios na escolha dos critérios de seus artigos. Assim, a variável "Autor" foi combinada com cada uma das categorias de critério consideradas nesta pesquisa, sendo os principais resultados apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Método Estatístico Cramer`s V-square

Autor X Categoria de Critérios	*Cramer's V-square*
Rentabilidade	0,120221
Risco	0,102320
Liquidez	0,127519
Custo/Orçamento	0,164913
Alavancagem / Débito	0,127718
Valor	0,0746500
Atividades/Operações	0,0883923
Macroeconômicos	0,120400
SRI	0,159005
Crescimento	0,115142
Capital Intelectual	0,135170
Consumidores	0,0865208
Mercado/Competitividade	0,115259
Eficiência Gerencial	0,0747741
Fluxo de Caixa	0,111381
Crédito	0,0806700
Regulamentador	0,118348

Fonte: O autor (2018)

4.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo tratou da apresentação e análise dos resultados obtidos com o processo categorização da revisão sistemática da literatura. Os artigos foram categorizados quantos ao ano de publicação, número de publicações, área de finanças, autores, metodologia, e tipos de critério. A partir da apresentação dos resultados, um conjunto de *research questions* foi verificado. Este estudo pode servir de base para futuras pesquisas no campo de MCDM/A aplicado à finanças, além disso, novas questões podem ser testadas futuramente a partir do banco de dados criado na presente revisão. A tabela 4.12, a seguir, ilustra os resultados/conclusões provenientes das análises realizadas com o conjunto de 11 *Research Questions* apresentadas na SLR.

Tabela 4.12: Conclusões das Research Questions

Research Question	Conclusão
RQ#1	O número de aplicações de MCDM/A em finanças cresceu ao longo do período analisado.
RQ#2	Um crescimento exponencial do número de citações recebidas pelos artigos foi verificado no período de 17 anos considerado
RQ#3	Aplicações de métodos de AMD em problemas financeiros são encontradas em maior número em revistas científicas focadas em Pesquisa Operacional e Ciências da Computação.
RQ#4	Modelos MCDM/A são aplicados em todas as áreas de Finanças analisadas nesta revisão sistemática.
RQ#5	Fuzzy é uma ferramenta de grande aplicabilidade em conjunto com métodos MCDM/A para a modelagem financeira.
RQ#6	Os métodos AHP e TOPSIS são os mais utilizados para a análise de performance corporativa.
RQ#7	Otimização Multiobjetivo, Algoritmos Evolucionários e *Goal Programming* são as principais metodologias para seleção de portfólios de investimentos.

RQ#8	Percebeu-se a existência de uma relação entre as áreas de finanças tratadas e a metodologias MCDM/A utilizadas nos respectivos problemas.
RQ#9	As problemáticas de ranking e portfólio são as mais tratadas em modelagem multicritério em finanças
RQ#10	As categorias Rentabilidade e Risco agrupam os principais critérios utilizados para modelagem financeira
RQ#11	Não foi percebida relação entre os autores e as categorias de critérios financeiros utilizadas nas respectivas abordagens MCDM/A. Não há vício na escolha dos critérios.

Fonte: O autor (2018)

5 PROPOSIÇÃO DE MÉTODO: PDTOPSIS-SORT

Neste capítulo é proposto um novo método de apoio a decisão multicritério para a problemática de classificação, baseado no conceito de desagregação de preferências, com utilização de programação não-linear para fazer inferência de parâmetros baseando-se em avaliações holísticas. O método proposto contribui à literatura multicritério ao introduzir o conceito de desagregação de preferências na inferência de parâmetros para o métodos TOPSIS e TOPSIS-Sort, preenchendo assim uma lacuna observada na revisão sistemática relacionada à utilização avaliações holísticas na inferência de parâmetros do TOPSIS na problemática de classificação.

5.1 CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO E DESAGREGAÇÃO DE PREFERÊNCIAS

Modelos e métodos de apoio à decisão multicritério que tratam da problemática de classificação têm sido desenvolvidos ao longo dos anos. Exemplos de aplicações em diferentes campos de estudo, como finanças, gerenciamento ambiental e energético, marketing, dentre outros, podem ser encontrados [22]. Muitos problemas de decisão em finanças tem por objetivo classificar um conjunto de alternativas, e assim, a problemática de classificação é muito importante nesse campo de atuação [339]. Doumpos & Zopounidis [22] distinguem entre dois tipos de problemas tratados na problemática de classificação: os problemas com classificação nominal (conhecidos internacionalmente como "*discrimination problems*"ou "*classification problems*") e os problemas com classificação ordinal ("*sorting problems*"). Esses autores explicam que, enquanto em problemas de classificação nominal não existe estabelecimento de relações de preferências entre alternativas de grupos distintos, que possuem diferentes características descritas pelos próprios grupos, no caso de classificação ordinal os grupos são definidos de maneira ordinal, sendo clara a relação de preferência entre eles.

Pode-se distinguir também entre métodos de agrupamento (*clustering*), que seguem a lógica de aprendizado não-supervisionado, e métodos de designação/classificação (*assignment*), que seguem a lógica de aprendizado supervisionado [516]. No primeiro caso, existe um conjunto de alternativas das quais não se tem informação sobre suas respectivas classificações ou sobre classes existentes, e assim, as alternativas são agrupadas de maneira que se forme o menor número de grupos possível, sendo as alternativas dentro de cada classe as mais similares possível. No segundo caso, parâmetros a serem utilizados no método/modelo

são obtidos a partir de conhecimento já existente ou elicitado através dos decisores e as alternativas são alocadas a classes pré-definidas, de maneira ordinal ou nominal [22], [516].

Métodos de apoio à decisão multicritério para a problemática de classificação são desenvolvidos com o intuito de apoiar indivíduos na resolução de problemas de decisão. O ELECTRE TRI designa alternativas à classes pré-definidas de acordo comparações par-a-par realizadas segundo relações de sobreclassificação [18]. Variantes do ELECTRE TRI foram formuladas ao longo dos anos, tratando da mesma problemática [517]. Adaptações de métodos de critério único de síntese também foram realizadas para problemas de classificação: AHPSORT [518], MACBETHSort [519]. Perez [520] apresenta em sua pesquisa o modelo aditivo com veto para a problemática de classificação. Recentemente, um método de classificação baseado em TOPSIS, denominado TOPSIS-Sort [521], foi formulado. Ferreira et al. [515] propuseram um método híbrido, que trata das problemáticas de classificação e portfólio, baseado em TOPSIS considerando lógica fuzzy.

Dentre os métodos que utilizam o conceito de desagregação de preferências (item 2.1.1.4 deste trabalho), o método UTADIS [522] representa um exemplo clássico para a problemática de classificação, onde se utiliza regressão baseada em programação linear para estimar parâmetros do modelo, baseado em uma função valor aditiva. Zopounidis & Dumpos [339] apresentam o FINCLASS (*FINancial CLASsification*), um sistema de apoio à decisão que utiliza desagregação de preferências para dar suporte a decisores em problemas de classificação em finanças. Um método de classificação baseado nos fluxos líquidos de sobreclassificação do PROMETHEE II, utilizando um conjunto de exemplos de referência, é proposto por Doumpos & Zopounidis [523]. Os métodos ELECTRE TRI-C [524] e ELECTRE TRI-nC [525] também utilizam exemplos de ação para a aprendizagem das preferências do decisor. Outras variações do ELECTRE TRI que propõem inferência de parâmetros através de programação linear [22] e programação não-linear [23] confirmam a vasta aplicabilidade desses conceitos. Dominance-Based Rough Set Approach (DRSA) é também capaz de lidar com problemas de classificação multicritério a partir de exemplos de decisão, que são base para a obtenção de regras de decisão tipo if-then [526]. A partir das regras obtidas sobre os critérios de decisão, as alternativas podem ser classificadas.

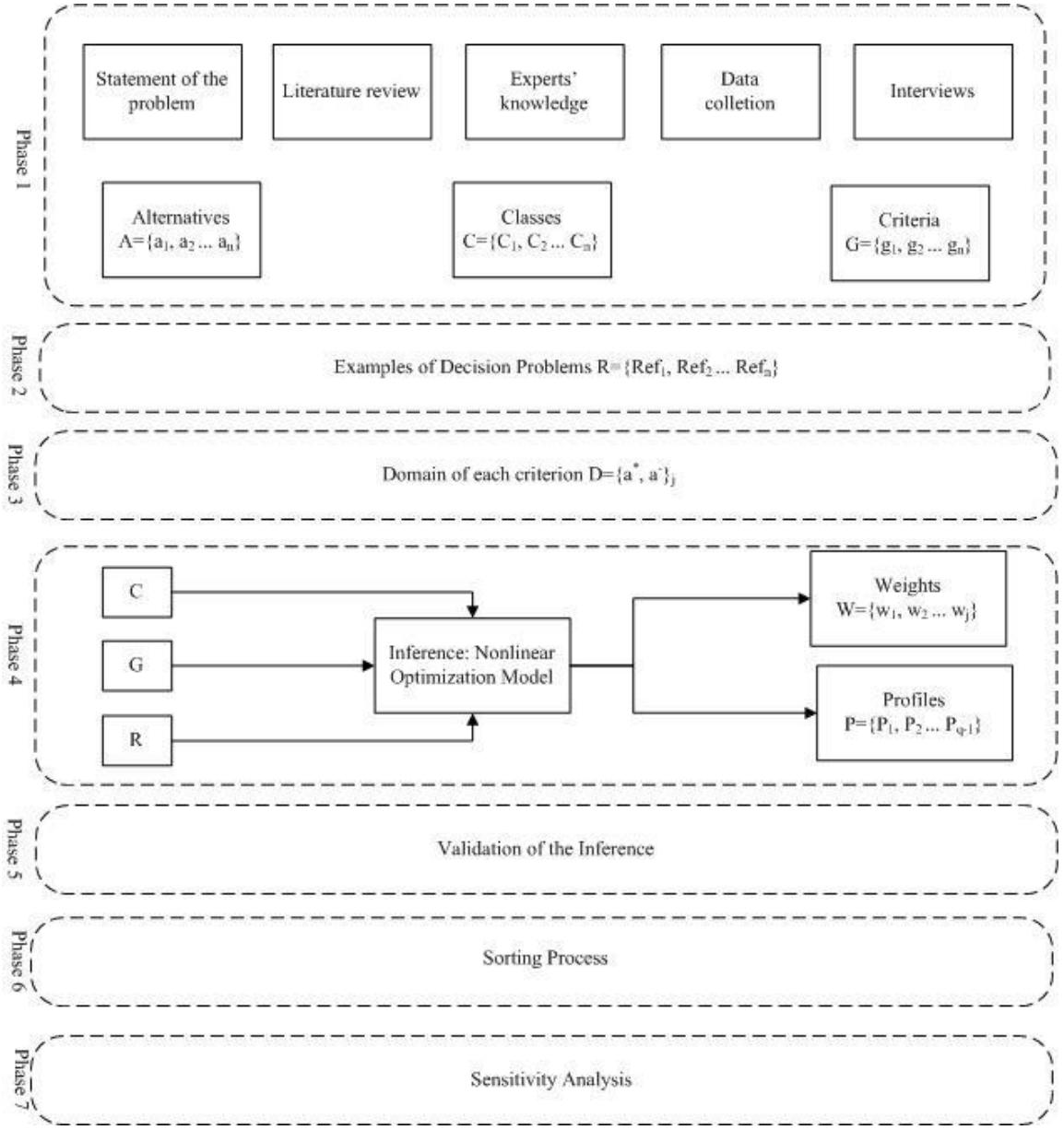
A simplicidade de entendimento da estrutura do método TOPSIS por parte de decisores, baseado na noção do cálculo de distâncias euclidianas, e os recentes avanços na adaptação de sua estrutura à problemática de classificação chamam atenção. Além disso, a abordagem de desagregação de preferências tem ganhado força ao longo dos anos por exigir menos esforço

cognitivo do decisor, levando a modelagem a obter resultados com menor tempo de interação entre analistas e decisores. Nesse contexto, esta pesquisa propõe um método de classificação ordinal, tratando a abordagem ao decisor segundo a noção de desagregação de preferências, tendo como base o método aditivo TOPSIS-SORT [521]. Exemplos de decisão são utilizados como input para a obtenção dos parâmetros do método. Esses exemplos aparecem na forma de classificações de um conjunto de alternativas de referência *R*, que podem ser um subconjunto de alternativas reais, onde $R \subset A$, ou um conjunto de alternativa fictícias.

5.2 PREFERENCE DISAGGREGATION ON TOPSIS-SORT

Seja um problema de decisão multicritério com *n* alternativas $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$, *m* critérios $G = \{g_1, g_2, ..., g_m\}$, onde o decisor objetiva alocar as alternativas em um conjunto de *q* classes pré-definidas em ordem de preferências como $\{C_1 \succ C_2 \succ C_3 \succ ... \succ C_q\}$. Seja G^+ o conjunto de critérios de benefício (monotonicidade positiva de preferências) e G^- o conjunto de critérios de custo (monotonicidade negativa de preferências). Para a alocação das alternativas dentre as classes, o método trabalha com perfis, que definem para cada critério, performances que indicam a distinção entre duas classes subsequentes. Assim, *q*-1 perfis são definidos $\{P_1, P_2, ..., P_{q-1}\}$. Além disso, define-se por $C_k^{\geq}$ o conjunto de classes preferíveis à classe C_k e por $C_k^{\leq}$ o conjunto de classes inferiores à classe C_k. Seja $g_j(a_i)$ a performance da alternativa a_i para o critério g_j. Definindo $Cl(a_i)$ o coeficiente de proximidade da alternativa a_i e $Cl(P_k)$ o coeficiente de proximidade perfil P_k, o método Preference Disaggregation TOPSIS-Sort (PDTOPSIS-Sort) é proposto seguindo os passos descritos na Figura 5.1.

Figura 5.1: Estrutura do PDTOPSIS-Sort



Fonte: O autor (2018)

Na primeira etapa do método, o problema de decisão é definido. São obtidas informações necessárias sobre os decisores e seus objetivos, as alternativas do problema, e os critérios de decisão (representando os objetivos dos decisores). Ainda nessa etapa, as classes do problema de classificação são estabelecidas de maneira ordinal. Atividades adicionais podem envolver coleta de dados da literatura, busca de opiniões e entrevistas a especialistas e decisores.

Na segunda etapa do método, exemplos de classificação são obtidos junto ao decisor através de um conjunto de alternativas de referência R $\{ref_1, ref_2, ref_3, ..., ref_w\}$. Assim, cada alternativa de referência é alocada pelo decisor a uma das classes pré-definidas ordinalmente.

O conjunto de alternativas de referência pode ser formado por um subconjunto das alternativas originais do problema ou por um conjunto de alternativas fictícias.

Na terceira etapa do modelo, um domínio é definido para os valores que poderão ser considerados dentro de cada critério, sendo este considerado já na inferência de parâmetros. Para isso, duas alternativas fictícias podem ser criadas, de modo a representar desempenhos muito bons (a^*) e desempenhos muito ruins (a^-) para cada um dos critérios. Conforme García-Cascales & Lamata [527], a definição do domínio é realizada para impedir que exista reversões de ordem no método TOPSIS, exposto no Algoritmo 1 desta dissertação, ao se inserirem novas alternativas no modelo, que podem alterar o *range* de desempenhos intracritério e, consequentemente, as soluções ideal e anti-ideal. Assim, o domínio é aplicado no PDTOPSIS-Sort para impedir mudanças de classificação resultantes de possíveis mudanças de *range* dentro dos critérios do problema. Caso o decisor acredite que o conjunto de alternativas já representa bem o *range* de critério, pode-se definir o domínio através dos valores dos melhores e piores desempenhos encontrados, considerando também possíveis alternativas de referência já criadas. Porém, caso achem necessário para a situação ou o problema em questão, o decisor e o analista podem estender o domínio a valores além dos encontrados no conjunto inicial de alternativas. O domínio, na prática, definirá as soluções ideal e anti-ideal para o cálculo das distâncias euclidianas (Algoritmo 1).

Na quarta etapa, é realizada a inferência dos parâmetros de classificação. Um modelo de programação não-linear é utilizado com esse intuito. Nesse etapa, utiliza-se o conjunto de alternativas de referência e os valores de desempenho definidores do domínio (etapa 2). O cálculo dos coeficientes de proximidade é realizado, assim, já considerando o domínio definido para o problema. Dessa forma, a classificação das alternativas de referência não muda ao se inserirem as demais alternativas na etapa de classificação [527]. O modelo de desagregação é apresentado e seus parâmetros e equações são explicados na próxima subseção desta dissertação (índice 5.2.2).

Na quinta etapa, uma validação dos parâmetros inferidos na etapa 3 pode ser realizada antes da eventual classificação das alternativas. Nesse caso, o decisor analisaria os pesos obtidos e os desempenhos dos perfis formulados em cada um dos critérios. Essa etapa identifica, antes mesmo da classificação final das alternativas, possíveis problemas gerados pela escolha das alternativas de referência. Um número maior de alternativas de referência pode ser necessário para inferir de maneira correta as preferências do decisor. Além disso, a partir da observação dos pesos gerados pelo modelo, o decisor pode opinar sobre possíveis restrições

adicionais a serem impostas para melhor explicitar suas preferências para a avaliação intercritério. Caso não haja disponibilidade do decisor ou caso ele não queira opinar sobre os parâmetros, a validação destes pode ser realizada junto à etapa de análise de sensibilidade, após a classificação das alternativas.

Na sexta etapa do método realiza-se a classificação das alternativas do modelo dentre as classes pré-definidas na etapa 1. Incialmente a matriz de decisão completa $M=(X,P,S)$ é construída, formada pelos desempenhos das alternativas de decisão do problema (matriz X), pelos desempenhos dos perfis (matriz P), e pelas duas alternativas fictícias que indicam definem o domínio do conjunto de alternativas para a aplicação do método PDTOPSIS-Sort (a^* e a^-). Em seguida, aplica-se à matriz de decisão M as etapas 4 a 8 do método TOPSIS-Sort [521], indicadas no Algoritmo 2 inserido na seção 5.2.1 desta dissertação.

Por fim, uma etapa de análise de sensibilidade é realizada. Pequenas variações nos parâmetros do modelo são feitas e é estudado o impacto dessas variações no resultado final das classificações. Essa variações podem ocorrer nos pesos, nos desempenhos dos perfis, ou mesmo nas constantes utilizadas em restrições no modelo de desagregação β e ε (explicadas na subseção 5.2.2). Os diferentes resultados obtidos são mostrados ao decisor, que pode validar classificação inicial, preferir uma classificação com alguma alteração de parâmetro, ou decidir por escolher diferentes alternativas de referência de modo a gerar uma nova classificação.

5.2.1 TOPSIS-Sort

O método TOPSIS [528] é uma das ferramentas mais conhecidas e utilizadas em apoio à decisão multicritério [515], [521]. Ele é estruturado de forma que as melhores alternativas são as que possuem maior proximidade em relação a uma solução ideal (A^*) e maior distância a uma solução anti-ideal (A^-). Para esse cálculo, são utilizadas distâncias euclidianas para medir a distância de cada alternativa a essas soluções de referência. Um coeficiente de proximidade é então calculado para cada alternativa, e assim, as alternativas são listadas em ordem decrescente dos seus respectivos coeficientes de proximidade. O método TOPSIS original pode ser considerado inserido no contexto da problemática de ordenação.

Seja um problema de decisão multicritério com n alternativas $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$, onde são considerados m critérios $G = \{g_1, g_2, ..., g_m\}$, e seja $g_j(a_i)$ o desempenho da alternativa a_i no critério g_j. O algoritmo a seguir mostra os passos do método TOPSIS [528].

Algoritmo 1: Rotina TOPSIS.

Passo 1: Normalizar a matriz de decisão $X = g_j(a_i)_{nxm}$

$$rij = \frac{g_j(a_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} g_j(a_i)^2}}$$

Passo 2: Calcular a matriz de decisão $V = v_j(a_i)_{nxm}$ normalizada pelos pesos.

$$v_{ij} = w_j g_j(a_i), i = 1, 2, \ldots, n; \;\; j = 1, 2, \ldots, m$$

$$\text{Onde: } \sum_{j=1}^{m} w_j = 1$$

Passo 3: Determinar as soluções ideal e anti-ideal.

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \ldots, v_m^*\} = \left\{max_j v_{ij} \middle| j \in G^+, min_j v_{ij} \middle| \; j \in G^- \right\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \ldots, v_m^-\} = \left\{min_j v_{ij} \middle| j \in G^+, max_j v_{ij} \middle| \; j \in G^- \right\}$$

Passo 4: Calcular as distâncias euclidianas de cada alternativa para as soluções ideal e anti-ideal.

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (v_{ij} - v_j^*)^2} \;\; , i = 1, 2, \ldots, n.$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (v_{ij} - v_j^-)^2} \;\; , i = 1, 2, \ldots, n.$$

Passo 5: Calcular o coeficiente de proximidade de cada alternativa para a solução ideal com base nas distâncias obtidas no passo anterior.

$$Cl_i = \frac{d_i^-}{d_i^* - d_i^-} \;\; , i = 1, 2, \ldots, n.$$

Passo 6: Ranquear as alternativas em ordem decrescente do coeficiente de proximidade.

Com o intuito de adaptar a lógica do método TOPSIS à problemática de classificação, onde são pré-definidas de forma ordinal q classes $\{C_1 \succ C_2 \succ C_3 \succ \ldots \succ C_q\}$, Sabokbar *et al.*[521] propuseram o método TOPSIS-Sort. Nesse método, além dos parâmetros iniciais do TOPSIS tradicional, são definidos junto ao decisor perfis que são necessários para definir as diferentes classes. Assim, entre duas classes subsequentes na ordem de preferências (C_k e C_{k+1}) é definido um perfil P_k ao qual as demais alternativas serão comparadas de forma que possam ser alocadas dentre as classes do modelo. Assim, o perfil P_k funciona como o limite superior da classe C_k e limite inferior da classe C_{k+1} e um total de q-1 perfis é definido para o modelo de decisão $\{P_1$,

P_2, ..., P_{q-1}}. Assim como as alternativas, os perfis possuem valores de desempenho para cada um dos critérios. Nesse caso, g_j (P_k) representa o desempenho do perfil de índice k no critério com índice j. Uma nova matriz de decisão é então construída inserindo os perfis criados à matriz de decisão do TOPSIS tradicional. Os coeficientes de proximidade são calculados para as alternativas originais e para os perfis, de modo que a classificação das alternativas é realizada a partir de comparações entre seus respectivos coeficientes e os coeficientes dos perfis definidores das classes. A seguir, a rotina do método TOPSIS-Sort [521] é ilustrada.

Algoritmo 2: Rotina TOPSIS-Sort.

Passo 1: Determinar a Matriz de Decisão $X = g_j(a_i)_{nxm}$

Passo 2: Estabelecer Perfis de Decisão $P=\{P_1, P_2, ..., P_{q-1}\}$

Passo 3: Adicionar os Perfis à Matriz de Decisão $M=\{X,P\}$.

Passo 4: Normalizar a Matriz de Decisão M a partir das equações:

$$r_{ij} = \frac{M_{ij}}{\max\limits_{1 \le i \le n+q-1} M_{ij}}, i = 1, \dots, (n + q - 1); j = 1, \dots, m.$$

Passo 5: Executar os Passos 2 a 5 do TOPSIS tradicional (Algoritmo 1)

Passo 6: Determinas os coeficientes de proximidade das alternativas $Cl(a_i)$, i = 1, ..., n.

Passo 7:Determinar os coeficientes de proximidade dos perfis $Cl(P_k)$, k = 1, ..., q-1.

Passo 8:Classificar as alternativas a partir de comparações entre os seus coeficientes de proximidade e os coeficientes dos perfis.

$$a_i \in C_1 \; se \; Cl(a_i) \geq Cl(P_1)$$

$$a_i \in C_k \; se \; Cl(P_{k-1}) > Cl(a_i) \geq Cl(P_k), k = 2, \dots, q-1$$

$$a_i \in C_q \; se \; Cl(a_i) < Cl\left(P_{q-1}\right)$$

5.2.2 Modelo de desagregação

A função objetivo do modelo de desagregação apresentado a seguir foi baseada no trabalho de Doumpos and Zopounidis [22], que propõem variações do método Electree TRI para desagregação de preferências.

- As variáveis de erro: σ_{jk}^{+} e σ_{jk}^{-}.
- Os pesos dos critérios do problema: $w_1, w_2, w_3, ..., w_j$.
- Os desempenhos obtidos para os perfis definidores das classes em cada um dos critérios de decisão: $g_j(P_k)$, j=1, 2, ..., m; k=1, 2, ..., q-1.

As variáveis de erro representam valores, somados ou subtraídos dos coeficientes de proximidade, que seriam necessários para que as alternativas de referência fossem alocadas às classes indicadas previamente pelo decisor. Por exemplo, a variável de erro σ_{ik}^{+} indica um valor necessário a ser adicionado a *Cl(ref$_i$)* para que a alternativa de referência *ref$_i$* possa ser alocada à classe C_k ou a uma classe superior (conforme designado pelo decisor). Assim, quanto menores as variáveis de erro, mais coerentemente os critérios escolhidos podem explicar as alternativas de referência do decisor.

O modelo de programação não-linear é apresentado a seguir e as equações do modelo são explicadas em seguida.

$$Min.ERRO = \frac{1}{R_1}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_1}\sum_{k=1}^{q-1}\sigma_{ik}^{+}\right)+\sum_{p=2}^{q-1}\frac{1}{R_p}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_p}\sum_{k=1}^{q-1}\sigma_{ik}^{+}+\sigma_{ik}^{-}\right)+\frac{1}{R_q}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_q}\sum_{k=1}^{q-1}\sigma_{ik}^{-}\right) \quad (5.1)$$

Sujeito a:

$$Cl(ref_i) + \sigma_{ik}^{+} \geq Cl(p_k), \forall ref_i \in C_k^{\geq}, k = 1, 2, \dots q-1. \quad (5.2)$$

$$Cl(ref_i) - \sigma_{ik}^{-} < Cl(p_k), \forall ref_i \in C_k^{<}, k = 1, 2, \dots q-1 \quad (5.3)$$

$$g_j(P_1) \geq g_j(P_2) \geq g_j(P_3) \geq \cdots \geq g_j\left(P_{q-1}\right), \forall g_j \in G^{+} \quad (5.4)$$

$$g_j(P_1) \leq g_j(P_2) \leq g_j(P_3) \leq \cdots \leq g_j\left(P_{q-1}\right), \forall g_j \in G^{-} \quad (5.5)$$

$$g_j(P_k) \geq \mu_{jC_{k,k+1}} - \beta \times |\mu_{jC_{k,k+1}}|, k = 1, 2, \dots, q-1 \quad (5.6)$$

$$g_j(P_k) \leq \mu_{jC_{k,k+1}} + \beta \times |\mu_{jC_{k,k+1}}|, k = 1, 2, \dots, q-1 \quad (5.7)$$

$$\left|g_j(P_k) - g_j(P_{k+1})\right| \geq \varepsilon\left|\mu_{jC_{k,k+1}} - \mu_{jC_{k+1,k+2}}\right|, k = 1, 2, \dots, q-2 \quad (5.8)$$

$$w_j <= 1/2 \sum_{t=1}^{m} w_t \quad (5.9)$$

$$\sum_{j=1}^{m} w_j = 1 \quad (5.10)$$

$$w_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (5.11)$$

$$\sigma_{ik}^{+} \geq 0 \; e \; \sigma_{ik}^{-} \geq 0, \forall\, j, k. \quad (5.12)$$

A equação 5.1 representa a função objetivo, que minimiza a soma das variáveis de erro das alternativas de referência ponderadas pelo número de alternativas em suas respectivas classes [22]. As constantes R_k indicam a quantidade de alternativas de referência indicadas à classe C_k.

As equações 5.2 e 5.3 definem as variáveis de erro. Os erros positivos, representados pelo índice σ_{ik}^{+} nas equações indicam os valores necessários para que as alternativas de determinada classe C_k ou de classes superiores à classe C_k (ou seja, para todo $ref_i \in C_k^{\geq}$) possuam coeficientes de proximidade superiores ou iguais ao coeficiente de proximidade do perfil P_k, definidor daquela classe. Os erros negativos, representados pelo índice σ_{ik}^{-}, indicam o valor

necessário para que as alternativas de referência de classes inferiores a determinada classe C_k (ou seja, para todo $ref_i \in C_k^<$) possuam coeficientes de proximidade inferiores ao coeficiente de proximidade do perfil P_k definidor daquela classe.

A equação 5.4 indica a aplicação da restrição de monotonicidade positiva para os perfis nos critérios de benefício. Por sua vez, a equação 5.5 indica a aplicação da restrição de monotonicidade negativa para os perfis nos critérios de custo

As equações 5.6 e 5.7 definem um intervalo para o qual o desempenho de perfil deve estar inserido. Essas restrições garantem que os perfis se situem de maneira coerente com os exemplos de decisão providos pelo decisor. Nestas equações, o intervalo possui centro na média dos desempenhos das alternativas de referência pertencentes às duas classes separadas pelo perfil P_k. Assim:

$$\mu_{jC_{k,k+1}} = \frac{1}{2R_k} \sum_{ref_i \in C_k} g_j(ref_i) + \frac{1}{R_{k+1}} \sum_{ref_i \in C_{k+1}} g_j(ref_i) \tag{5.13}$$

Os valores dos limites superior e inferior dos intervalos são obtidos com o valor médio adicionado ou subtraído do produto entre o próprio valor médio e uma constante β. A escolha da constante β deve ser determinada inicialmente pelo analista e análises de sensibilidade podem ser realizadas com variações para a constante β, em uma análise a posteriori junto ao decisor que, a partir dos resultados da classificação, poderá indicar a melhor situação para a escolha da constante. A depender da situação/preferência do analista, também podem ser utilizados valores individuais de β_j para cada critério sem que se altere as características do modelo.

A equação 5.8, assim como as equações 5.6 e 5.7, tem papel de garantir que os desempenhos dos perfis sejam obtidos coerentemente às especificações do problema e às alternativas de referência. Mais especificamente, essa equação previne que a programação gere perfis idênticos dentro de determinados critérios (pois eles definiriam em termos práticos um menor número de classes para o problema nesse critério). A equação restringe a diferença entre os desempenhos de dois perfis subsequentes para determinado critério em termos da diferença entre os valores das médias obtidas com a lógica da equação 5.13. Uma constante ε é utilizada para indicar o percentual da diferença entre as duas médias (equação 5.13) que será exigido para a diferença entre os desempenhos de dois perfis subsequentes para cada critério.

A equação 5.9, ou variações da mesma, pode ser usada em casos em que o decisor não enxerga um critério ditador [23]. Assim, os pesos dos critérios são restritos por uma constante. Em outras situações, podem-se utilizar restrições nos pesos a partir da interação do analista com o decisor com o intuito de prevalecer aspectos cognitivos ou do contexto do problema, por exemplo, para fazer valer uma prioridade específica. Pode-se nesse caso, fazer uma analogia com o que ocorre na escolha dos parâmetros de um modelo estatístico, quando escolhe-se um modelo de regressão que apresente menor coeficiente de determinação, em detrimento de outro com valor do coeficiente maior para garantir que todos os parâmetros do modelo sejam significativos. Assim, em situações onde o decisor queira estabelecer uma ordem de preferência entre dois ou mais critérios (Equação 5.14), ou alguma regra de razão entre os mesmos (Equação 5.15), estas restrições podem ser consideradas no modelo de desagregação de preferências. Esses tipos de restrição, porém, não são essenciais para o funcionamento do modelo visto que os pesos são completamente inferidos através da escolha das alternativas de referência e do modelo de desagregação, e assim, são utilizadas apenas em casos particulares de acordo com as preferências do decisor. De toda forma, é recomendável que os parâmetros sejam apresentados ao decisor durante o processo de validação do modelo, e caso haja alguma incoerência, estas restrições podem ser aplicadas.

$$w_j < w_k < \cdots < w_l \tag{5.14}$$

$$w_j = t \times w_i \tag{5.15}$$

A equação 5.10 garante que o somatório dos pesos será igual ao valor unitário. Por fim, as equações 5.11 e 5.12 garantem que os pesos e as variáveis de erros assumam valores não-negativos.

5.3 VALIDAÇÃO DO PDTOPSIS-SORT

5.3.1 Definição do problema de decisão

Com o intuito de validar o método PDTOPSIS-Sort, o exemplo numérico apresentado por Sabokbar *et al*. [521], para o TOPSIS-Sort, foi replicado utilizando o método proposto nesta dissertação. O problema consiste em classificar um total de 22 alternativas dentre 5 classes pré-definidas de maneira ordinal. A matriz de decisão completa do problema, com pesos, perfis e informação da direção dos critérios é apresentada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Matriz de Decisão 1

Alternativas	g_1 (benefício)	g_2 (benefício)	g_3 (benefício	g_4 (benefício)	g_5 (custo)
a_1	15,5	82,4	40,1	70,66	313,69
a_2	9,9	90,8	22	82,21	130,61
a_3	15,2	82,3	25,2	65,57	269,37
a_4	23,4	88,3	60,2	69,28	119,03
a_5	16,6	76,8	22,7	69,28	116,82
a_6	12,4	78,6	22,6	50,28	199,55
a_7	4	85	27,8	51,4	188,94
a_8	4,4	78,2	25,6	56,59	126,37
a_9	5,2	80,2	27,6	86,29	108,82
a_{10}	2,3	80,7	24,2	79,88	97,95
a_{11}	4,9	77,7	26,3	61,28	122,58
a_{12}	5,7	80,9	26,8	70,75	82,75
a_{13}	33,4	85,3	28,1	67,68	126,14
a_{14}	5,9	82,5	29,8	82,61	149,32
a_{15}	14	88,5	24,6	90,71	335,24
a_{16}	11,4	81,8	26,5	61,04	139,62
a_{17}	3,5	78,9	22,4	60,82	99,42
a_{18}	12,96	78,4	25,2	67,25	180,18
a_{19}	28	82,4	25,3	56,89	102,78
a_{20}	15,7	82,1	27,7	24,64	193,52
a_{21}	25	91,3	67,1	79,81	916,67
a_{22}	48	85,1	49,2	86,71	173,79
P_1	25	80	40	80	150
P_2	20	75	30	60	300
P_3	10	70	20	30	400
P_4	0	65	10	20	700
w_j	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Fonte: *Sabokbar et al.* [521]

5.3.2 Obtenção de exemplos de decisão

Para a validação do método PDTOPSIS-Sort, a matriz de decisão da Tabela 5.1 foi utilizada, porém, este método não utiliza como variáveis de entrada os pesos e os perfis definidores das classes, por outro lado, o PDTOPSIS-Sort estima essas variáveis através de uma programação não-linear. Nesse caso, exemplos de referência são utilizados no método, como explicado no item 5.2.2 desta dissertação. Um conjunto de alternativas de referência fictícias foi utilizado para a validação do método. No total, 10 alternativas de referência foram criadas aleatoriamente respeitando a lógica do problema, sendo duas para cada classe do modelo. Dessa forma, as alternativas foram criadas de modo que fossem respeitadas a direção dos critérios e os perfis elaborados em Sabokbar *et al* [521]. Assim, as alternativas de referência definem

também o domínio dos critérios nesse problema, não sendo necessária, nesta validação, a criação de alternativas fictícias adicionais com esse intuito. A tabela a seguir ilustra as alternativas de referência e os seus desempenhos em cada um dos critérios do modelo.

Tabela 5.2: Alternativas de Referência para Validação do Método

Classe	referências	g1	g2	g3	g4	g5
C_1	ref_1	26	84	46	91	80
	ref_2	28	81	42,1	88	70
C_2	ref_3	24,5	76	38,3	78	200
	ref_4	22	78,3	35	72	260
C_3	ref_5	17,3	72	22,6	38	340
	ref_6	15	72	25	43	350
C_4	ref_7	4,1	68,6	14,8	20,6	530
	ref_8	4,2	67,8	17	23	430
C_5	ref_9	-4,7	64,7	6	15	880
	ref_{10}	-3	60,4	3	19	950

Fonte: O autor (2018)

5.3.3 Definição do problema de decisão

Após a definição dos exemplos de decisão, a partir da alocação de alternativas de referência fictícias para as classes do modelo, foi realizada a inferência de parâmetros para o método conforme a terceira etapa da Figura 5.1. As variáveis de decisão do modelo de programação não-linear são definidas a seguir:

- Pesos: $w_1, w_2, \ldots, w_5$.
- Desempenhos dos perfis: $g_j(P_k)$, j = 1, 2, ..., 5; k= 1, 2, 3, 4.
- Variáveis de Erro.
  - Erros Positivos: σ_{ik}^{+}, i = 1, 2, ..., n-1; k = 1, 2, 3, 4.
  - Erros Negativos: σ_{ik}^{-}, i = 2, 3, ..., n; k = 1, 2, 3, 4.

O modelo de programação não-linear consiste, assim, na minimização da soma dos erros das alocações das alternativas de referência, ponderados pelo total de alternativas em cada classe:

$$Min.ERRO = \frac{1}{2}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_1}\sum_{k=1}^{4}\sigma_{ik}^{+}\right) + \sum_{p=2}^{4}\frac{1}{2}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_p}\sum_{k=1}^{4}\sigma_{ik}^{+} + \sigma_{ik}^{-}\right) + \frac{1}{2}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_5}\sum_{k=1}^{4}\sigma_{ik}^{-}\right) \quad (5.16)$$

Sujeito a:

$$Cl(ref_i) + \sigma_{ik}^{+} \geq Cl(P_k), \forall ref_i \in C_k^{\geq}, k = 1, 2, \ldots 4. \quad (5.17)$$

$$Cl(ref_i) - \sigma_{ik}^{-} < Cl(P_k), \forall ref_i \in C_k^{<}, k = 1, 2, \ldots 4. \quad (5.18)$$

$$g_j(P_1) \geq g_j(P_2) \geq g_j(P_3) \geq \cdots \geq g_j(P_4), \forall g_j \in G^{+} \quad (5.19)$$

$$g_j(P_1) \leq g_j(P_2) \leq g_j(P_3) \leq \cdots \leq g_j(P_4), \forall g_j \in G^{-} \quad (5.20)$$

$$g_j(P_k) \geq \mu_{jC_{k,k+1}} - 0{,}1 \times |\mu_{jC_{k,k+1}}|, k = 1, 2, \ldots, 4. \quad (5.21)$$

$$g_j(P_k) \leq \mu_{jC_{k,k+1}} + 0{,}1 \times |\mu_{jC_{k,k+1}}|, k = 1, 2, \ldots, 4. \quad (5.22)$$

$$\left|g_j(P_k) - g_j(P_{k+1})\right| \geq 0{,}9\left|\mu_{jC_{k,k+1}} - \mu_{jC_{k+1,k+2}}\right|, k = 1, 2, \ldots, 3. \quad (5.23)$$

$$\sum_{j=1}^{5} w_j = 1 \quad (5.24)$$

$$w_j \geq 0, j = 1, 2, \ldots, 5. \quad (5.25)$$

$$\sigma_{ik}^{+} \geq 0 \; e \; \sigma_{ik}^{-} \geq 0, \forall \; i, k. \quad (5.26)$$

O modelo foi aplicado com as constantes β = 0,1 (equações 5.21 e 5.22) e ε = 0,9 (equação 5.23). Como explicado na apresentação do modelo de desagregação, esses parâmetros fazem parte de restrições utilizadas para garantir uma coerência na obtenção de parâmetros para os perfis das classes. Através de testes numéricos, verificou-se uma recomendação de valores para β entre 0,05 e 0,2 e valores para ε entre 0,7 e 0,9. No entanto, a escolha desses parâmetros em situações reais dependerá de cada caso em particular e deve ser analisada pelo analista em conjunto com o decisor.

Com a aplicação do método, os parâmetros a seguir foram obtidos para os desempenhos dos perfis e os pesos dos critérios:

Tabela 5.3: Parâmetros Inferidos - Validação

Perfil	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
P_1	24,22683	84,91905	40,67691	80,04107	149,1875
P_2	19,20872	72,5445	30,55482	56,35523	273,1639
P_3	10,42714	69,867	20,29537	32,07273	415,7153
P_4	0,15169	61,59552	10,38427	19,33362	720,0237
w_j	0,205302	0,194877	0,201692	0,200674	0,197454

Fonte: O autor (2018)

5.3.4 Classificação das alternativas

Com a obtenção dos parâmetros da Tabela 5.3, o procedimento de classificação referente ao método TOPSIS-Sort foi aplicado. Uma matriz de decisão é formada agregando ao conjunto de alternativas os perfis obtidos no processo de inferência. Um normalização dos valores foi realizada e os pesos dos critérios foram incorporados conforme explicado no Algoritmo 2 apresentado nesta dissertação. Assim, as soluções ideal (A^*) e anti-ideal (A^-) são encontradas. A Tabela 5.4 ilustra a matriz de decisão normalizada:

Tabela 5.4: Matriz Normalizada – Validação

Alternativas	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
a_1	0,066296	0,175881	0,120534	0,156318	0,06757
a_2	0,042344	0,19381	0,066129	0,18187	0,028134
a_3	0,065012	0,175667	0,075747	0,145058	0,058023
a_4	0,100085	0,188474	0,180952	0,153265	0,025639
a_5	0,071	0,163928	0,068233	0,153265	0,025163
a_6	0,053036	0,16777	0,067932	0,111232	0,042984
a_7	0,017109	0,18143	0,083563	0,11371	0,040698
a_8	0,018819	0,166916	0,07695	0,125192	0,02722
a_9	0,022241	0,171185	0,082961	0,190896	0,02344
a_{10}	0,009837	0,172252	0,072742	0,176715	0,021099
a_{11}	0,020958	0,165849	0,079054	0,135567	0,026404
a_{12}	0,02438	0,172679	0,080557	0,156517	0,017825
a_{13}	0,142856	0,182071	0,084464	0,149726	0,027171
a_{14}	0,025235	0,176094	0,089574	0,182755	0,032164
a_{15}	0,05988	0,188901	0,073944	0,200674	0,072212
a_{16}	0,048759	0,1746	0,079655	0,135036	0,030075
a_{17}	0,01497	0,16841	0,067331	0,13455	0,021415
a_{18}	0,055432	0,167343	0,075747	0,148775	0,038811
a_{19}	0,11976	0,175881	0,076048	0,125856	0,022139
a_{20}	0,067151	0,17524	0,083262	0,05451	0,041685
a_{21}	0,106928	0,194877	0,201692	0,176561	0,197454
a_{22}	0,205302	0,181644	0,147888	0,191825	0,037435
P_1	0,103621	0,181258	0,122269	0,177072	0,032135
P_2	0,082158	0,154844	0,091843	0,124672	0,05884
P_3	0,044598	0,149129	0,061005	0,070953	0,089546
P_4	0,000649	0,131474	0,031214	0,042771	0,155095
Solução Ideal (A^*)	0,205302	0,194877	0,201692	0,200674	0,017825
Solução Anti-Ideal (A^-)	0,000649	0,131474	0,031214	0,042771	0,197454

Fonte: O autor (2018)

A partir da obtenção das soluções ideal e anti-ideal, são calculadas as distâncias euclidianas das alternativas para tais soluções e, em seguida, calculam-se os coeficientes de proximidade de cada alternativa. As alternativas são, então, alocadas às classes conforme explicado no último passo do Algoritmo 2. O método PDTOPSIS-Sort obteve classificação semelhante às alocações obtidas na aplicação numérica de Sabokbar *et al.* [521]. A Tabela 5.5 a seguir apresenta as distâncias euclidianas, o coeficiente de proximidade, e as classificações de cada alternativa para o método PDTOPSIS-Sort e para o modelo base da validação.

Tabela 5.5: Resultados da Classificação – Validação

Alternativas	IDEAL	ANTI-IDEAL	Cl	PDTOPSIS-Sort	TOPSIS-Sort [521]
a_1	0,17525	0,209815	0,544883	C_2	C_2
a_2	0,213059	0,234224	0,52366	C_2	C_2
a_3	0,201548	0,194891	0,491604	C_3	C_3
a_4	0,117688	0,278006	0,702578	C_1	C_1
a_5	0,197757	0,221959	0,528832	C_2	C_2
a_6	0,224598	0,184277	0,450693	C_3	C_3
a_7	0,24008	0,187381	0,438358	C_3	C_3
a_8	0,238546	0,198622	0,454337	C_3	C_3
a_9	0,219766	0,238627	0,520573	C_2	C_2
a_{10}	0,236498	0,229159	0,49212	C_3	C_3
a_{11}	0,232762	0,204333	0,467479	C_3	C_3
a_{12}	0,22327	0,223384	0,500128	C_3	C_3
a_{13}	0,14314	0,25701	0,642284	C_2	C_2
a_{14}	0,214183	0,230038	0,517846	C_2	C_2
a_{15}	0,201149	0,221926	0,524554	C_2	C_2
a_{16}	0,210401	0,207484	0,49651	C_3	C_3
a_{17}	0,24365	0,205637	0,457696	C_3	C_3
a_{18}	0,205464	0,20658	0,501353	C_3	C_3
a_{19}	0,170533	0,236236	0,580763	C_2	C_2
a_{20}	0,235437	0,18289	0,437194	C_3	C_3
a_{21}	0,206217	0,249556	0,547544	C_2	C_2
a_{22}	0,059439	0,325325	0,845519	C_1	C_1
P_1	0,132644	0,25834	0,660742	-	-
P_2	0,190506	0,1918	0,501693	-	-
P_3	0,263976	0,124776	0,320965	-	-
P_4	0,344591	0,042358	0,109467	-	-

Fonte: O autor (2018)

Os resultados alcançados demonstraram uma boa aderência do método, que obteve perfis e pesos próximos aos encontrados por Sabokbar *et al.* [521], além de alcançar uma classificação semelhante para o conjunto de 22 alternativas do problema de decisão.

Pequenas variações nos parâmetros do modelo foram realizadas de modo a estudar a sensibilidade do mesmo. Resultados semelhantes foram encontrados. Em alguns casos, classificações diferentes foram obtidas. Porém, é normal que um modelo de desagregação não atinja parâmetros idênticos aos obtidos por indicações diretas de um decisor. A inferência de preferências por meio de avaliações holísticas é realizada quando o decisor não está disponível ou não se acha capaz de indicar os parâmetros necessários para um modelo de agregação. Adicionalmente, percebeu-se que variações nos perfis do exemplo numérico original [521] já resultavam em mudanças nas classificações das alternativas, o que indica sensibilidade nos resultados encontrados por Sabokbar *et al.* [521] para esse problema de decisão.

5.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Devido às dificuldades muitas vezes encontradas por analistas para elicitar preferências dos decisores em relação a pesos e perfis em métodos de classificação, a abordagem de desagregação de preferências é bastante utilizada. Adicionalmente, foi encontrado na literatura um gap na inferência de parâmetros do método TOPSIS por meio de exemplos de decisão. Neste capítulo, um novo método multicritério para a problemática de classificação foi formulado: Preference Disaggregation on Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Sort (PDTOPSIS-Sort). O método teve resultado validado com a replicação de um exemplo numérico do TOPSIS-Sort ilustrado por Sabokbar *et al.* [521] e um bom resultado foi alcançado.

6 AVALIAÇÃO DE DEBÊNTURES ATRAVÉS DO PDTOPSIS-SORT

Este capítulo apresenta um estudo de caso com uma aplicação do método PDTOPSIS-Sort para a avaliação e classificação de debêntures quanto ao seu risco para investidores individuais. Uma análise desse tipo não foi um encontrada na revisão sistemática da literatura realizada nesta dissertação, representando assim, um gap ainda existente no estado da arte envolvendo AMD para decisões financeiras.

6.1 INVESTIMENTOS EM DEBÊNTURES

Títulos podem ser definidos como instrumentos de débito de longo prazo utilizados por governos e empresas para captar recursos financeiros de um grupo diverso de credores [13]. Dentre as alternativas existentes, destacam-se os títulos de dívida corporativa, emitidos por empresas privadas e públicas. No Brasil, os títulos corporativos são representados, em grande parte, pelas emissões de debêntures. O risco associado a esses investimentos (chamado de risco de crédito ou risco de default) está relacionado à chance de que a empresa responsável pela emissão do título não seja capaz de cumprir o acordo realizado com o credor. Investidores (credores), por sua vez, estão dispostos a obter taxas de retornos maiores e a pagar menos por títulos que possuem um maior risco de crédito associado [25].

A análise do risco de crédito está entre os principais campos de estudo de finanças e, dentre as formas de analisar as organizações nesse sentido, destacam-se tentativas de classificá-las quanto ao nível de risco. Doumpos & Figueira [529] publicaram recentemente uma análise de classificação de ratings de crédito para empresas a partir do método de sobreclassificação Electre Tri-nC. No entanto, ainda existe um gap em relação a exemplos relacionados à classificação de debêntures brasileiras no contexto de análise multicritério.

6.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO

O problema de decisão estudado nessa pesquisa consiste na classificação de um conjunto de alternativas de investimento, representadas por debêntures brasileiras, em três classes pré-definidas ordinalmente como: $C_1 > C_2 > C_3$. A classe C_1 representa alternativas de investimento com menor risco associado enquanto a classe C_3 representa debêntures de maior risco. Assim, foram selecionadas como alternativas para o problema de decisão um conjunto de debêntures, com balanços disponíveis e publicados para o ano de 2016 no website da BM&FBOVESPA [530]. Os balanços foram utilizados no cálculo de indicadores financeiros (critérios do modelo

de decisão). Dessa forma, um total de 50 debêntures foi selecionado para o modelo, apresentadas na Tabela 6.1 a seguir:

Tabela 6.1: Conjunto de Alternativas

	Alternativas – Debêntures
a_1	RAIZEN ENERGIA S/A
a_2	TERMELETRICA PERNAMBUCO III S.A.
a_3	VALE S/A
a_4	IGUATEMI EMPRESA DE SHOPPING CENTERS S.A
a_5	LOJAS RENNER S/A
a_6	TELEFONICA BRASIL S/A
a_7	AES TIETE ENERGIA S/A
a_8	BR MALLS PARTICIPACOES S/A
a_9	CONCESSIONARIA DE RODOVIAS DO OESTE DE SAO PAULO - VIAOESTE S.A.
a_{10}	RIO PARANAPANEMA ENERGIA S/A
a_{11}	BNDES PARTICIPACOES S/A – BNDESPAR
a_{12}	COMPANHIA DE GAS DE SAO PAULO – COMGAS
a_{13}	CONCESSIONARIA DO SISTEMA ANHANGUERA-BANDEIRANTES S/A
a_{14}	CPFL GERACAO DE ENERGIA S/A
a_{15}	TRANSMISSORA ALIANCA DE ENERGIA ELETRICA S/A
a_{16}	BR PROPERTIES S.A.
a_{17}	CIA SANEAMENTO BASICO EST. SP – SABESP
a_{18}	COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANA - SANEPAR
a_{19}	ECORODOVIAS CONCESSOES E SERVICOS S/A
a_{20}	EDP ENERGIAS DO BRASIL S.A.
a_{21}	SONAE SIERRA BRASIL S/A
a_{22}	ALGAR TELECOM S.A.
a_{23}	AMPLA ENERGIA E SERVICOS S/A
a_{24}	CENTRAIS ELETRICAS DO PARA S.A. – CELPA
a_{25}	CIA. DE ELETRIC. DO EST. DA BAHIA-COELBA
a_{26}	COMPANHIA ENERGETICA DE PERNAMBUCO-CELPE
a_{27}	COMPANHIA ENERGETICA DO CEARA-COELCE
a_{28}	COMPANHIA PIRATININGA DE FORCA E LUZ
a_{29}	CONCESSIONARIA ECOVIAS DOS IMIGRANTES S.A.
a_{30}	ELEKTRO REDES S.A.
a_{31}	ENERGISA SA
a_{32}	JSL S.A
a_{33}	MRS LOGISTICA S/A
a_{34}	MRV ENGENHARIA E PARTICIPACOES S.A.
a_{35}	RIO GRANDE ENERGIA S/A
a_{36}	TCP TERMINAL DE CONTEINERES DE PARANAGUA S.A.
a_{37}	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS COPASA MG
a_{38}	CONCESSIONARIA DAS RODOVIAS AYRTON SENNA E CARVALHO PINTO S/A – ECOPISTAS
a_{39}	CEMIG DISTRIBUICAO S/A
a_{40}	CEMIG GERACAO E TRANSMISSAO S/A
a_{41}	CONCESSIONARIA RODOVIAS DO TIETE S/A

a_{42}	CONCESSIONARIA ROTA DAS BANDEIRAS S/A
a_{43}	LIGHT SERVICOS DE ELETRICIDADE S/A
a_{44}	MILLS ESTRUTURAS E SERVICOS DE ENGENHARIA S/A
a_{45}	RODOVIAS DAS COLINAS S.A
a_{46}	TRIANGULO DO SOL AUTO - ESTRADAS S/A
a_{47}	CONCESSIONARIA AUTO RAPOSO TAVARES S/A
a_{48}	INVESTIMENTOS E PARTICIPACOES EM INFRA-ESTRUTURA S/A - INVEPAR
a_{49}	PETROLEO BRASILEIRO S/A – PETROBRAS
a_{50}	TECNISA S/A

Fonte: O autor (2018)

O decisor é representado por um analista financeiro de um banco de investimentos brasileiro de grande porte, com sede principal em São Paulo e unidades espalhadas por vários estados do país. O decisor possui graduação e mestrado, além de ser um profissional com diversas credenciais: CPA-20 (Associação Brasileira das Entidades de Mercados Financeiros e de Capitais – ANBIMA) e CPF® (Associação Brasileira de Planejadores Financeiros - PLANEJAR). Segundo a PLANEJAR [531], para a obtenção do CFP®, o candidato deve comprovar que possui pelo menos três anos de experiência profissional no relacionamento direto com clientes pessoas físicas, para no mínimo uma das seguintes atividades:

- Processo de planejamento financeiro pessoal, como um todo;
- Planejamento de aposentadoria;
- Planejamento sucessório;
- Planejamento fiscal;
- Investimentos;
- Seguros;

É de interesse do analista financeiro e do banco o estudo de novos modelos que possam auxiliar investidores e inferir suas preferências de maneira prática e intuitiva. Nesse âmbito, o uso de inferências através de avaliações holísticas serve quando é mais fácil classificar exemplos do que elicitar valores específicos para parâmetros.

Os critérios de decisão foram selecionados com base na literatura [194],[523] e representam indicadores financeiros baseados em informações contábeis presentes nas demonstrações financeiras publicadas pelas organizações periodicamente. Nesse estudo, essas informações são referentes ao ano de 2016. A Tabela 6.2 a seguir apresenta o conjunto de critérios e suas respectivas informações relacionadas à direção de preferência (benefício/maximização ou custo/minimização):

Tabela 6.2: Conjunto de Critérios

Critério		Descrição	Direção
g_1	Return on Assets	Earnings before interest and taxes divided by total assets	Max
g_2	Return on Equity	Net income divided by shareholders' equity	Max
g_3	Net profit margin	Net income divided by sales	Max
g_4	Asset Turnover Ratio	Sales divided by total assets	Max
g_5	Acid Liquidity Ratio	Current assets minus inventories divided by current liabilities	Max
g_6	Cash Asset Ratio	Cash plus cash equivalents divided by current liabilities	Max
g_7	Working capital to Current liabilities Ratio	Currents assets minus current liabilities divided by current liabilities	Max
g_8	1/Solvency Ratio	Shareholder's equity divided by total liabilities	Max
g_9	Leverage Ratio	Total assets divided by shareholder's equity	Max
g_{10}	Interest Coverage Ratio	Earnings before interest and taxes divided by interest expenses	Max

Fonte: Xidonas [194] , *Doumpos&Zopounidis* [523]

A seguir é ilustrada uma tabela com informações referentes aos desempenhos das 50 alternativas para cada um dos critérios 10 de decisão. Essa é a matriz inicial de desempenhos, ainda não contendo informações dos referentes aos perfis definidores das classes do problema. Os valores dos desempenhos estão arredondados para três casas decimais para melhor visualização e acomodação da tabela, porém, os cálculos foram realizados com a utilização de 15 casas decimais.

Tabela 6.3: Matriz de Desempenhos

Alter/ Critério	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}
a_1	0,058	0,150	0,115	0,512	2,201	1,004	1,390	0,652	2,534	6,931
a_2	0,039	0,971	-0,557	0,267	0,103	0,000	-0,818	-0,133	-6,539	0,222
a_3	0,078	0,099	0,141	0,293	1,711	0,379	1,009	0,707	2,414	0,975
a_4	0,079	0,060	0,246	0,128	1,749	0,431	0,762	1,101	1,908	1,407
a_5	0,151	0,237	0,097	0,996	1,132	0,307	0,400	0,687	2,456	5,114
a_6	0,062	0,059	0,096	0,416	0,880	0,250	-0,100	2,110	1,474	1,586
a_7	0,157	0,227	0,230	0,381	0,938	0,087	-0,062	0,626	2,598	2,886
a_8	0,012	0,021	0,167	0,066	1,171	0,026	0,171	1,088	1,919	0,105
a_9	0,363	1,149	0,281	0,677	0,383	0,244	-0,617	0,199	6,036	1,922
a_{10}	0,147	0,204	0,271	0,304	0,761	0,639	-0,239	0,677	2,476	2,750
a_{11}	-0,043	-0,014	-0,983	0,013	7,532	3,414	6,532	11,576	1,086	-4,943
a_{12}	0,182	0,348	0,159	0,653	1,460	1,062	0,518	0,426	3,346	2,836
a_{13}	0,302	1,196	0,294	0,499	0,464	0,286	-0,536	0,140	8,149	2,300
a_{14}	0,080	0,084	0,140	0,150	0,998	0,674	-0,002	0,334	3,992	1,174
a_{15}	0,163	0,200	0,620	0,165	1,820	0,094	0,820	1,050	1,953	2,986
a_{16}	0,015	0,006	0,066	0,051	1,773	1,111	0,773	1,062	1,941	0,282
a_{17}	0,093	0,191	0,209	0,384	0,875	0,438	-0,111	0,723	2,383	-13,698

a_{18}	0,101	0,130	0,180	0,368	1,313	0,660	0,351	1,035	1,966	3,896
a_{19}	0,193	0,550	0,203	0,423	0,752	0,478	-0,248	0,185	6,417	2,122
a_{20}	0,085	0,092	0,089	0,487	1,140	0,507	0,173	0,876	2,142	1,303
a_{21}	0,077	0,072	0,724	0,069	1,388	1,139	0,388	2,260	1,442	3,894
a_{22}	0,115	0,168	0,072	0,749	0,789	0,168	-0,198	0,474	3,109	1,799
a_{23}	0,016	-0,098	-0,050	0,551	0,807	0,117	-0,193	0,389	3,570	0,143
a_{24}	0,069	0,166	0,078	0,579	1,452	0,088	0,456	0,373	3,679	0,743
a_{25}	0,070	0,088	0,037	0,671	0,709	0,025	-0,287	0,390	3,563	0,292
a_{26}	0,045	0,000	0,000	0,856	0,689	0,012	-0,305	0,398	3,510	0,283
a_{27}	0,114	0,170	0,096	0,832	1,067	0,112	0,067	0,886	2,128	2,461
a_{28}	0,061	0,191	0,022	0,857	1,113	0,596	0,115	0,108	10,277	0,841
a_{29}	0,280	0,699	0,297	0,514	2,944	2,446	1,944	0,279	4,578	3,524
a_{30}	0,090	0,176	0,074	0,712	1,150	0,412	0,150	0,427	3,341	1,723
a_{31}	0,056	0,041	0,017	0,590	1,258	0,159	0,267	0,313	4,195	0,741
a_{32}	0,056	-0,301	-0,027	0,760	0,799	0,183	-0,149	0,074	14,562	0,504
a_{33}	0,120	0,126	0,127	0,433	0,478	0,212	-0,456	0,773	2,293	1,537
a_{34}	0,037	0,106	0,135	0,345	1,383	0,603	1,435	0,789	2,267	7,262
a_{35}	0,070	0,059	0,033	0,691	1,147	0,531	0,154	0,637	2,570	1,095
a_{36}	0,051	-0,069	-0,018	0,139	2,361	2,147	1,362	0,037	27,786	0,793
a_{37}	0,073	0,073	0,108	0,368	1,488	0,565	0,524	1,186	1,843	1,980
a_{38}	0,091	0,044	0,061	0,259	0,523	0,060	-0,477	0,558	2,793	1,144
a_{39}	-0,006	-0,130	-0,031	0,645	0,999	0,088	0,007	0,179	6,573	-0,085
a_{40}	0,073	0,015	0,010	0,413	0,486	0,089	-0,513	0,385	3,597	0,910
a_{41}	0,077	-0,497	-0,130	0,149	0,644	0,035	-0,356	0,041	25,612	0,574
a_{42}	0,114	0,034	0,034	0,227	1,179	1,007	0,179	0,303	4,299	0,994
a_{43}	0,033	-0,074	-0,021	0,731	0,843	0,146	-0,149	0,266	4,763	0,505
a_{44}	-0,078	-0,100	-0,251	0,263	2,366	1,707	1,437	1,946	1,514	-1,444
a_{45}	0,153	0,366	0,330	0,291	0,551	0,243	-0,449	0,356	3,811	1,220
a_{46}	0,215	0,469	0,368	0,393	0,363	0,105	-0,637	0,446	3,242	1,630
a_{47}	0,027	-0,278	-0,351	0,176	0,230	0,109	-0,764	0,285	4,505	0,276
a_{48}	0,119	-0,086	-0,055	0,158	0,337	0,054	-0,647	0,112	9,918	1,169
a_{49}	0,020	-0,052	-0,046	0,351	1,457	0,851	0,798	0,458	3,185	0,535
a_{50}	-0,149	-0,315	-1,338	0,109	0,567	0,012	0,617	0,862	2,160	-9,380

Fonte: O autor (2018)

6.3 OBTENÇÃO DE EXEMPLOS DE DECISÃO E INFERÊNCIA DE PARÂMETROS

Após o processo de definição do problema de decisão, são obtidas as alternativas de referência a partir de um conjunto de exemplos de decisão fornecidos pelo decisor. Diferentemente das alternativas de referência utilizadas na validação do método, onde um conjunto de alternativas fictícias foi considerado, neste estudo de caso o decisor escolheu um subconjunto de alternativas reais para servirem de referência para a classificação das demais

alternativas. Nesse cenário, 9 alternativas de referência foram consideradas, sendo três alternativas alocadas à cada classe do modelo, como ilustra a Tabela 6.4 a seguir.

Tabela 6.4: Conjunto de Referência

Classes	**Alternativas de Referência**	
C₁	ref_1	RAIZEN ENERGIA S/A
	ref_2	VALE S/A
	ref_3	COMPANHIA DE GAS DE SÃO PAULO - COMGAS
C₂	ref_4	BR PROPERTIES S.A.
	ref_5	EDP ENERGIAS DO BRASIL S.A.
	ref_6	SONAE SIERRA BRASIL S/A
C₃	ref_7	CONCESSIONARIA DAS RODOVIAS AYRTON SENNA E CARVALHO PINTO S/A – ECOPISTAS
	ref_8	TRIANGULO DO SOL AUTO - ESTRADAS S/A
	ref_9	TECNISA S/A

Fonte: O autor (2018)

Essas alternativas, e seus respectivos desempenhos para os critérios (já apresentados na tabela 6.3) são utilizadas para inferir os parâmetros do método PDTOPSIS-Sort através do processo de desagregação de preferências com uma otimização não-linear. Além disso, o domínio dos desempenhos foi considerado no modelo, como explicado no etapa 3 e do PDTOPSIS-Sort. Para isso, foram utilizados os valores de melhor desempenho (alternativa fictícia a^*) e pior desempenho (alternativa fictícia a^-) do conjunto de 50 debêntures, para cada critérios. Dessa forma, o modelo explicado na seção 5.2.2 é utilizado para o caso de três classes e nove alternativas de referência. Assim, como na validação do modelo, não foi utilizada nenhuma restrição quanto ao comportamento dos pesos (equações 5.9, 5.14 e 5.15). Uma instância do modelo não linear completo é apresentada no Anexo 1. A seguir, é apresentado o modelo de desagregação em sua forma reduzida:

$$Min.\,ERRO = \frac{1}{3}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_1}\sum_{k=1}^{2}\sigma_{ik}^{+}\right) + \frac{1}{3}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_2}\sum_{k=1}^{2}\sigma_{ik}^{+} + \sigma_{ik}^{-}\right) + \frac{1}{3}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_3}\sum_{k=1}^{2}\sigma_{ik}^{-}\right) \quad (6.1)$$

Sujeito a:

$$Cl(ref_i) + \sigma_{ik}^{+} \geq Cl(P_k), \forall ref_i \in C_k^{\geq}, k = 1, 2. \quad (6.2)$$

$$Cl(ref_i) - \sigma_{ik}^{-} < Cl(P_k), \forall ref_i \in C_k^{<}, k = 1, 2. \quad (6.3)$$

$$g_j(P_1) \geq g_j(P_2), \forall g_j \in G^{+} \quad (6.4)$$

$$g_j(P_1) \leq g_j(P_2), \forall g_j \in G^{-} \quad (6.5)$$

$$g_j(P_k) \geq \mu_{jC_{k,k+1}} - 0{,}1 \times |\mu_{jC_{k,k+1}}|, k = 1, 2. \quad (6.6)$$

$$g_j(P_k) \leq \mu_{jC_{k,k+1}} + 0{,}1 \times |\mu_{jC_{k,k+1}}|, k = 1, 2. \quad (6.7)$$

$$\left|g_j(P_1) - g_j(P_2)\right| \geq 0{,}75\left|\mu_{jC_{1,2}} - \mu_{jC_{2,3}}\right| \quad (6.8)$$

$$\sum_{j=1}^{10} w_j = 1 \quad (6.9)$$

$$w_j \geq 0, j = 1, 2, \ldots, 10. \quad (6.10)$$

$$\sigma_{ik}^{+} \geq 0 \; e \; \sigma_{ik}^{-} \geq 0, \forall \; i, k. \quad (6.11)$$

Uma vez que três classes foram estabelecidas, dois perfis são formados e os seus desempenhos $g_j(P_k)$, assim como os pesos dos critérios (w_j), são output do modelo de programação não linear. A Tabela a seguir apresenta os parâmetros obtidos.

Tabela 6.5: Resultados da Inferência de Parâmetros

	g_1	**g_2**	**g_3**	**g_4**	**g_5**	**g_6**	**g_7**	**g_8**	**g_9**	**g_{10}**
P_1	0,0816	0,1174	0,2089	0,3669	1,4659	0,7805	0,6375	1,0971	2,0729	2,4333
P_2	0,0616	0,0675	-0,0047	0,2458	0,9165	0,4404	0,1256	0,9865	2,5155	-0,2015
w_j	0,0079	0,0099	0,0170	0,1187	0,1664	0,1486	0,2382	0,1292	0,1462	0,0180

Fonte: O autor (2018)

6.3.1 Validação da inferência de parâmetros

Percebe-se que, para o conjunto de referência escolhido pelo decisor, os critérios que obtiveram maior peso foram g_5: *acid liquidity* (w_5=0,1664) e g_7: *Working capital to Current liabilities Ratio* (w_8=0,2382). Juntos, esses dois critérios somam mais de 40% dos total de pesos atribuídos. Ao serem analisados pelo decisor, este decidiu manter os pesos obtidos, e assim, nenhuma nova restrição foi formulada com o intuito de controlar os pesos dos critérios.

Uma vez que debêntures constituem títulos de dívida de organizações [532], indicadores contábeis que atestam à capacidade da empresa cumprir tais obrigações podem ser utilizados para medir a relação entre a situação financeira da empresa e sua capacidade de honrar compromissos financeiros.

Nesse cenário, o critério g_7 é um indicativo da estrutura de capital e do grau de endividamento da empresa [13], indicando o quanto de capital de terceiros é utilizado na estrutura de capital da organização e é, assim, importante para credores [533]. Por sua vez, o critério *acid liquidity ratio* é um indicador de capacidade de cumprimento de obrigações financeiras no curto prazo pela organização [13], sendo essa análise realizada e importante na avaliação de debêntures [532].

Em relação aos perfis, ao analisar os parâmetros em conjunto com os pesos atribuídos a cada um dos critérios, o decisor preferiu mantê-los como foram obtidos na inferência de modo

a analisar as classificações que seriam realizadas com esses parâmetros, e assim, decidiu postergar eventuais análises mais detalhadas para a fase de análise de sensibilidade.

6.4 CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

A classificação das alternativas acontece, como explicado anteriormente, comparando-se os coeficientes de proximidade para a solução ideal de cada alternativas do modelo aos coeficientes de proximidade dos perfis das classes. O primeiro passo é construir a matriz de decisão adicionando ao conjunto de alternativas os dois perfis obtidos na inferência de parâmetros. Em seguida, a matriz é normalizada e as soluções ideal e anti-ideal são definidas. A seguir, é apresentada uma tabela que ilustra a matriz de decisão final já normalizada, além das soluções ideal e anti-ideal obtidas através dela.

Tabela 6.6: Matriz de Decisão Final Normalizada

Alternt.	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}
a_1	0,0013	0,0012	0,0027	0,0610	0,0486	0,0437	0,0507	0,0073	0,0133	0,0172
a_2	0,0008	0,0080	-0,0130	0,0318	0,0023	0,0000	-0,0298	-0,0015	-0,0344	0,0006
a_3	0,0017	0,0008	0,0033	0,0349	0,0378	0,0165	0,0368	0,0079	0,0127	0,0024
a_4	0,0017	0,0005	0,0058	0,0152	0,0387	0,0188	0,0278	0,0123	0,0100	0,0035
a_5	0,0033	0,0020	0,0023	0,1187	0,0250	0,0133	0,0146	0,0077	0,0129	0,0127
a_6	0,0014	0,0005	0,0023	0,0496	0,0195	0,0109	-0,0036	0,0235	0,0078	0,0039
a_7	0,0034	0,0019	0,0054	0,0454	0,0207	0,0038	-0,0023	0,0070	0,0137	0,0072
a_8	0,0003	0,0002	0,0039	0,0079	0,0259	0,0011	0,0062	0,0121	0,0101	0,0003
a_9	0,0079	0,0095	0,0066	0,0806	0,0085	0,0106	-0,0225	0,0022	0,0318	0,0048
a_{10}	0,0032	0,0017	0,0063	0,0362	0,0168	0,0278	-0,0087	0,0076	0,0130	0,0068
a_{11}	-0,0009	-0,0001	-0,0230	0,0015	0,1664	0,1486	0,2382	0,1292	0,0057	-0,0122
a_{12}	0,0039	0,0029	0,0037	0,0777	0,0323	0,0462	0,0189	0,0048	0,0176	0,0070
a_{13}	0,0066	0,0099	0,0069	0,0594	0,0102	0,0124	-0,0196	0,0016	0,0429	0,0057
a_{14}	0,0017	0,0007	0,0033	0,0178	0,0221	0,0294	-0,0001	0,0037	0,0210	0,0029
a_{15}	0,0035	0,0017	0,0145	0,0197	0,0402	0,0041	0,0299	0,0117	0,0103	0,0074
a_{16}	0,0003	0,0001	0,0015	0,0060	0,0392	0,0484	0,0282	0,0119	0,0102	0,0007
a_{17}	0,0020	0,0016	0,0049	0,0457	0,0193	0,0191	-0,0041	0,0081	0,0125	-0,0339
a_{18}	0,0022	0,0011	0,0042	0,0438	0,0290	0,0287	0,0128	0,0116	0,0103	0,0097
a_{19}	0,0042	0,0046	0,0048	0,0503	0,0166	0,0208	-0,0090	0,0021	0,0338	0,0053
a_{20}	0,0018	0,0008	0,0021	0,0580	0,0252	0,0221	0,0063	0,0098	0,0113	0,0032
a_{21}	0,0017	0,0006	0,0170	0,0082	0,0307	0,0496	0,0142	0,0252	0,0076	0,0096
a_{22}	0,0025	0,0014	0,0017	0,0892	0,0174	0,0073	-0,0072	0,0053	0,0164	0,0045
a_{23}	0,0003	-0,0008	-0,0012	0,0657	0,0178	0,0051	-0,0070	0,0043	0,0188	0,0004
a_{24}	0,0015	0,0014	0,0018	0,0690	0,0321	0,0038	0,0166	0,0042	0,0194	0,0018

a_{25}	0,0015	0,0007	0,0009	0,0799	0,0157	0,0011	-0,0105	0,0044	0,0187	0,0007
a_{26}	0,0010	0,0000	0,0000	0,1019	0,0152	0,0005	-0,0111	0,0044	0,0185	0,0007
a_{27}	0,0025	0,0014	0,0022	0,0991	0,0236	0,0049	0,0025	0,0099	0,0112	0,0061
a_{28}	0,0013	0,0016	0,0005	0,1021	0,0246	0,0259	0,0042	0,0012	0,0541	0,0021
a_{29}	0,0061	0,0058	0,0070	0,0612	0,0651	0,1065	0,0709	0,0031	0,0241	0,0087
a_{30}	0,0019	0,0015	0,0017	0,0848	0,0254	0,0179	0,0055	0,0048	0,0176	0,0043
a_{31}	0,0012	0,0003	0,0004	0,0703	0,0278	0,0069	0,0097	0,0035	0,0221	0,0018
a_{32}	0,0012	-0,0025	-0,0006	0,0905	0,0177	0,0080	-0,0055	0,0008	0,0766	0,0012
a_{33}	0,0026	0,0010	0,0030	0,0516	0,0106	0,0092	-0,0166	0,0086	0,0121	0,0038
a_{34}	0,0008	0,0009	0,0032	0,0411	0,0306	0,0262	0,0523	0,0088	0,0119	0,0180
a_{35}	0,0015	0,0005	0,0008	0,0823	0,0254	0,0231	0,0056	0,0071	0,0135	0,0027
a_{36}	0,0011	-0,0006	-0,0004	0,0166	0,0522	0,0934	0,0497	0,0004	0,1462	0,0020
a_{37}	0,0016	0,0006	0,0025	0,0439	0,0329	0,0246	0,0191	0,0132	0,0097	0,0049
a_{38}	0,0020	0,0004	0,0014	0,0309	0,0116	0,0026	-0,0174	0,0062	0,0147	0,0028
a_{39}	-0,0001	-0,0011	-0,0007	0,0768	0,0221	0,0038	0,0003	0,0020	0,0346	-0,0002
a_{40}	0,0016	0,0001	0,0002	0,0492	0,0107	0,0039	-0,0187	0,0043	0,0189	0,0023
a_{41}	0,0017	-0,0041	-0,0030	0,0178	0,0142	0,0015	-0,0130	0,0005	0,1348	0,0014
a_{42}	0,0025	0,0003	0,0008	0,0271	0,0261	0,0439	0,0065	0,0034	0,0226	0,0025
a_{43}	0,0007	-0,0006	-0,0005	0,0871	0,0186	0,0064	-0,0054	0,0030	0,0251	0,0013
a_{44}	-0,0017	-0,0008	-0,0059	0,0313	0,0523	0,0743	0,0524	0,0217	0,0080	-0,0036
a_{45}	0,0033	0,0030	0,0077	0,0346	0,0122	0,0106	-0,0164	0,0040	0,0201	0,0030
a_{46}	0,0047	0,0039	0,0086	0,0468	0,0080	0,0046	-0,0232	0,0050	0,0171	0,0040
a_{47}	0,0006	-0,0023	-0,0082	0,0210	0,0051	0,0048	-0,0278	0,0032	0,0237	0,0007
a_{48}	0,0026	-0,0007	-0,0013	0,0188	0,0074	0,0024	-0,0236	0,0013	0,0522	0,0029
a_{49}	0,0004	-0,0004	-0,0011	0,0418	0,0322	0,0371	0,0291	0,0051	0,0168	0,0013
a_{50}	-0,0032	-0,0026	-0,0313	0,0130	0,0125	0,0005	0,0225	0,0096	0,0114	-0,0232
P_1	0,0018	0,0010	0,0049	0,0437	0,0324	0,0340	0,0232	0,0122	0,0109	0,0060
P_2	0,0013	0,0006	-0,0001	0,0293	0,0203	0,0192	0,0046	0,0110	0,0132	-0,0005
A^*	0,0079	0,0099	0,0170	0,1187	0,1664	0,1486	0,2382	0,1292	0,1462	0,0180
A^-	-0,0032	-0,0041	-0,0313	0,0015	0,0023	0,0000	-0,0298	-0,0015	-0,0344	-0,0339

Fonte: O autor (2018)

Então, através dos dados obtidos na Tabela 6.6, são calculadas as distâncias euclidianas entre cada alternativa e as soluções ideal (A^*) e anti-ideal (A^-), e em seguida, são obtidos os coeficientes de proximidade para a solução ideal como indicado no Algoritmo 1. A seguir, essas informações são ilustradas na Tabela 6.7. A classificação das alternativas é realizada seguindo a lógica do Algoritmo 2. Alternativas que possuam coeficiente de proximidade igual ou maior ao coeficiente do perfil P_1 são alocadas à classe C_1. Caso contrário, se uma alternativa possuir coeficiente de proximidade igual ou superior ao coeficiente do perfil P_2, esta será alocada à

classe C_2. Por fim, alternativas com coeficientes de proximidade inferiores ao coeficiente $Cl(P_2)$ são alocadas à classe C_3.

Tabela 6.7: Classificação das Alternativas

Alternativa	d^+	d^-	Coeficiente – $Cl(a_i)$	Classificação
a_1	0,31016	0,14235	0,31458	C_1
a_2	0,42353	0,05104	0,10755	C_3
a_3	0,33860	0,10941	0,24422	C_1
a_4	0,34760	0,10087	0,22491	C_2
a_5	0,34806	0,14868	0,29932	C_1
a_6	0,36701	0,09178	0,20004	C_2
a_7	0,37179	0,09241	0,19908	C_2
a_8	0,37475	0,08070	0,17719	C_3
a_9	0,37803	0,11876	0,23906	C_2
a_{10}	0,37093	0,09013	0,19549	C_2
a_{11}	0,19017	0,37431	0,66310	C_1
a_{12}	0,33262	0,13028	0,28145	C_1
a_{13}	0,37428	0,11398	0,23344	C_2
a_{14}	0,36600	0,09005	0,19745	C_2
a_{15}	0,34997	0,10685	0,23391	C_2
a_{16}	0,34057	0,10756	0,24001	C_2
a_{17}	0,37135	0,08332	0,18326	C_3
a_{18}	0,34970	0,10269	0,22700	C_2
a_{19}	0,36567	0,10530	0,22358	C_2
a_{20}	0,35558	0,10134	0,22179	C_2
a_{21}	0,34765	0,10954	0,23960	C_2
a_{22}	0,36876	0,11719	0,24115	C_2
a_{23}	0,37182	0,09939	0,21093	C_2
a_{24}	0,35056	0,11390	0,24523	C_1
a_{25}	0,37460	0,10888	0,22519	C_2
a_{26}	0,37393	0,12509	0,25067	C_1
a_{27}	0,36046	0,12671	0,26009	C_1
a_{28}	0,34013	0,15049	0,30673	C_1
a_{29}	0,27267	0,18949	0,41002	C_1
a_{30}	0,35328	0,12002	0,25358	C_1
a_{31}	0,35455	0,11196	0,24000	C_2
a_{32}	0,35236	0,15284	0,30254	C_1
a_{33}	0,38232	0,08811	0,18730	C_3
a_{34}	0,32688	0,12644	0,27892	C_1
a_{35}	0,35240	0,11681	0,24895	C_1

a_{36}	0,28171	0,22952	0,44896	C_1
a_{37}	0,34553	0,10294	0,22955	C_2
a_{38}	0,38901	0,07783	0,16671	C_3
a_{39}	0,36001	0,11770	0,24639	C_1
a_{40}	0,38532	0,08782	0,18562	C_3
a_{41}	0,36834	0,17721	0,32483	C_1
a_{42}	0,35277	0,10077	0,22218	C_2
a_{43}	0,36575	0,11834	0,24445	C_1
a_{44}	0,30424	0,13996	0,31508	C_1
a_{45}	0,38298	0,08645	0,18415	C_3
a_{46}	0,38956	0,08949	0,18681	C_3
a_{47}	0,39883	0,07459	0,15756	C_3
a_{48}	0,38869	0,10092	0,20613	C_2
a_{49}	0,33616	0,11052	0,24743	C_1
a_{50}	0,37431	0,07289	0,16299	C_3
P_1	0,33958	0,10892	0,24286	
P_2	0,36482	0,08491	0,18880	

Fonte: O autor (2018)

6.4.1 Análise de sensibilidade

Nessa etapa, realizada junto ao decisor, alguns parâmetros do modelo são variados de modo a testar a sua sensibilidade. A ideia desse teste é analisar a robustez ou sensibilidade do modelo, no contexto da problemática de classificação, avalia-se se existem mudanças de classificação das alternativas e a extensão dessas mudanças [20].

Inicialmente, foi realizada uma mudança pedida pelo decisor relacionada aos parâmetros iniciais dos desempenhos do perfil P_2 para os critérios g_3: *Net Profit Margin* e g_{10}: *Financial Expenses Coverage*, pois esses assumiram valores negativos na inferência. Os seus valores foram alterados para zero e uma nova classificação foi realizada. Nesse novo cenário, nenhuma alteração foi percebida e o modelo convergiu totalmente às classificações do modelo inicial.

Posteriormente, algumas análises foram realizadas variando os valores de alguns parâmetros em um intervalo de ±10%. Inicialmente, essa variação foi realizada sobre os desempenhos dos perfis para os critérios de lucratividade (g_1, g_2 e g_3). Assim, números aleatórios foram gerados dentro de intervalo estabelecido para esses parâmetros e mudanças de classificação não também foram observadas.

Em seguida, variações de mesma natureza foram testadas para vários critérios ao mesmo tempo, incluindo os de maior peso (g_5 e g_7). Nesse caso, mudanças na classificação das

alternativas tornaram-se mais frequentes e o modelo mostrou-se mais sensível. O decisor, no entanto, avaliou os resultados e decidiu por manter os parâmetros iniciais, com a única alteração estabelecida para a não negatividade nos desempenhos do perfil P_2 para os critérios g_3 e g_{10}, alterando-os assim para zero. Dessa forma, a classificação das alternativas foi mantida como apresentada na Tabela 6.7.

Um caso interessante a ser comentado alternativa a_{49}: Petróleo Brasileiro S/A – PETROBRAS, que foi alocada à classe C_1 e se manteve nessa classe durante a análise de sensibilidade. Os resultados confirmam a expectativa é uma debênture de baixo *default risk* para a_{49}, pois é uma grande estatal e seus possíveis problemas financeiros receberiam cobertura financeira do governo brasileiro. Por outro lado, sabe-se que eventos recentes decorrentes de problemas de corrupção e riscos políticos associados afetaram a administração da empresa, além de afetaram significativamente o seu balanço. A Petrobras ainda está em processo de recuperação, porém, dado seu tamanho e setor, essa recuperação ainda não é percebida no modelo, que utiliza apenas critérios objetivos de contabilidade. Assim, como o modelo foi aplicado considerando apenas critérios objetivos contábeis, essa análise subjetiva do risco da estatal não é capturada pelo método de classificação. Portanto, uma vez que os indicadores contábil-financeiros da empresa ainda trazem resquícios destes eventos problemáticos recentes, dependendo do rigor da avaliação (parametrização), seria possível que a empresa sofresse consequências em sua classificação (como uma classificação a uma classe de risco intermediário), como um reflexo das perdas consolidadas nos indicadores contábeis desde 2014. Fatores subjetivo podem ser inseridos futuramente à análise, como critérios envolvendo risco político e fatores relacionados à proteção governamental e garantias a determinadas empresas.

Outro caso interessante diz respeito ao BNDS, que consiste em um banco público que opera subsidiando empréstimos para várias empresas brasileiras, desde que o governo julgue essa atividade estratégica. Nesse cenário, o banco recebeu valores baixos de rentabilidade, como indica a Tabela 6.3. Porém, como essa alternativa obteve performances notáveis em outros critérios envolvendo liquidez e estrutura de capital, incluindo os dois mais importantes (g_5 e g_7), o BNDES foi alocado à classe C_1.

6.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou um estudo voltado para a análise e classificação de 50 debêntures brasileiras segundo os seus desempenhos publicados para o ano de 2016. As alternativas foram avaliadas em relação a 10 critério financeiros através do método PDTOPSIS-Sort. A partir de

um conjunto de 9 exemplos de referência, o método se mostrou capaz de classificar as demais alternativas. Análises de sensibilidade mostraram certa sensibilidade do modelo, porém os parâmetros iniciais foram mantidos pelo decisor. Análises posteriores deverão ser realizadas sobre o método PDTOSIS-Sort em relação a sua sensibilidade quanto a alterações nos parâmetros iniciais utilizados no método.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 CONCLUSÕES

Existem diversos campos de atuação em Finanças, que envolvem tanto a tomada de decisão em situações pessoais como no contexto organizacional, com possibilidade de envolvimento de múltiplos objetivos. Ferramentas de Apoio à Decisão Multicritério tem amplo e crescente espaço no auxílio a decisores em problemas de natureza financeira. Esta dissertação apresentou um estudo abrangente do estado da arte da literatura envolvendo estudos e aplicações de modelos multicritério em Finanças.

O número de publicações científicas envolvendo MCDM/A no contexto financeiro cresceu significativamente ao longo dos últimos 17 anos. Um crescimento ainda mais acentuado é observado a partir do fim da última década, em anos que coincidem com o surgimento da grande crise financeira mundial existente nesse período. Além disso, o número de citações aos artigos categorizados na presente revisão sistemática também cresceu, indicando a presente relevância dos temas abordados.

Um grande conjunto de revistas científicas trataram do tema nos 17 anos considerados na presente pesquisa. Ao todo, 205 diferentes revistas tiveram artigos selecionados, porém, 129 dessas são responsáveis por apenas uma publicação. Um grande conjunto de autores também foi observado. A correlação entre principais autores e as categorias de critérios que são utilizadas em seus respectivos trabalhos foi estudada, sendo indicada a inexistência de vício na escolha de critérios por parte desses autores.

Em relação as metodologias multicritério utilizadas no apoio a decisão em problemas financeiros, destaca-se o grande envolvimento de teoria Fuzzy nos modelos, presente em 121 publicações. Métodos AHP e TOPSIS, além de problemas envolvendo otimização multiobjectivo e a aplicação do método Goal Programming também se destacam por estar presentes em um grande número de publicações. Uma categorização dos critérios financeiros utilizados nos trabalhos também foi realizada. Dentre os quais, critérios de Rentabilidade e Risco estão presentes no maior número de publicações.

Um total de 494 artigos científicos foram selecionados nessa revisão sistemática da literatura, de um conjunto inicial de 3295 artigos encontrados. O processo de busca e de filtragem foi realizado a partir de uma metodologia estruturada e clara, com artigos selecionados entre os anos de 2000 e 2017 no banco de dados da base “Web of Science”. Dentre as principais áreas apoiadas por modelos MCDM/A, se destacam as áreas de Otimização de Portfólio,

Análise de Performance Corporativa, e a área Bancária como as que tiveram mais artigos categorizados.

Em relação ao novo método proposto, foi preenchida uma lacuna observada na literatura, que é a inferência de parâmetros para o método TOPSIS. Como uma etapa importante a ser considerada conforme Borenstein [534], foi realizada a validação do procedimento de apoio a decisão proposto neste trabalho. Utilizou-se de dados provenientes da literatura para a reprodução dos resultados obtidos por [521] através do procedimento PDTOPSIS-Sort.

Após a validação do método proposto, foi estudado um problema inédito conforme indicado na revisão da literatura, que é a análise de debêntures através de uma perspectiva multicritério. Foi realizado um estudo para debentures inspirado no estudo realizado por Xidonas *et al.*[194], utilizando dados reais conforme as informações publicadas nos balanços das empresas emissoras de debentures. No total, 50 debêntures foram utilizadas no modelo e o método PDTOPSIS-Sort realizou a classificação a partir de 9 alternativas de referência, representadas por um subconjunto das 50 alternativas iniciais.

Em geral, foi percebido que o objetivo geral e os objetivos específicos foram alcançados ao longo desta dissertação. A SLR foi capaz de responder o conjunto de questões de pesquisa, e um novo método multicritério foi formulado, testado e aplicado em uma decisão com dados reais.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros, propõe-se um estudo mais detalhado sobre cada uma das áreas de aplicação em Finanças. Revisões mais específicas podem ser realizadas envolvendo particularidades de cada área. Por exemplo, pode-se estudar em detalhes os tipos de modelo de otimização e as formas de modelagem dentro da área de Otimização de Portfólio. Além disso, análises estatísticas mais detalhadas podem ser realizadas dentro dos resultados encontrados nesse trabalho, como exemplo, testes de questões de pesquisa envolvendo o crescimento do número de publicações e citações dos artigos encontrados.

No que tange à modelagem multicritério em finanças, através da Revisão Sistemática da Literatura foi possível identificar gaps na literatura que podem ser trabalhados em estudos futuros. De uma forma mais geral, o método de apoio multicritério proposto neste trabalho pode ser aplicado em diversos contextos uma vez que seja observada a problemática de classificação, e não apenas no contexto de finanças. Assim, espera-se que o método seja amplamente usado em diversas áreas para apoiar o processo de classificação de alternativas sob uma perspectiva

multicritério. No que se refere à aplicação do método proposto no ramo de investimentos em debêntures, para trabalhos futuros, podem ser inseridos à análise critérios de caráter mais subjetivo, como risco político, relação de proteção estatal, histórico da empresa em relação à cumprimento de seus acordos financeiros, dentre outros. Com esse intuito, a opinião de especialistas poderia ser utilizada na avaliação intracritério dessas empresas, para esses critérios adicionais que poderiam lidar com maior subjetividade. Além disso, análises envolvendo os indicadores financeiros para diferentes anos podem ser realizadas de modo a comparar e analisar a performance do conjunto de alternativas ao longo de um período.

REFERÊNCIAS

[1] ZOPOUNIDIS, C.; GALARIOTIS, E.; DOUMPOS, M.; SARRI, S.; ANDRIOSOPOULOS, K., Multiple criteria decision aiding for finance: An updated bibliographic survey. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 247, no. 2. pp. 339–348. Dec. 2015.

[2] DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., *Multicriteria Analysis in Finance*, 1st ed. SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING, 2014.

[3] MARKOWITZ, H., Portfolio selection. *Journal Of Finance*. vol. 7, no. 1. pp. 77–91. 1952.

[4] ROY, A.D., Safety First and the Holding of Assets. *Econometrica*. vol. 20, no. 3. pp. 431–449. 1952.

[5] ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M., Multicriteria decision systems for financial problems. *TOP*. vol. 21, no. 2. pp. 241–261. Jul. 2013.

[6] STEUER, R.E.; NA, P., Multiple criteria decision making combined with finance: A categorized bibliographic study. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 150, no. 3. pp. 496–515. Nov. 2003.

[7] PONSICH, A.; LOPEZ JAIMES, A.; COELLO COELLO, C.A., A Survey on Multiobjective Evolutionary Algorithms for the Solution of the Portfolio Optimization Problem and Other Finance and Economics Applications. *IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION*. vol. 17, no. 3. pp. 321–344. Jun. 2013.

[8] CEREN, T.S.; KOKSALAN, M., EFFECTS OF MULTIPLE CRITERIA ON PORTFOLIO OPTIMIZATION. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 13, no. 1. pp. 77–99. Jan. 2014.

[9] AOUNI, B.; COLAPINTO, C.; LA TORRE, D., Financial portfolio management through the goal programming model: Current state-of-the-art. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 234, no. 2. pp. 536–545. Apr. 2014.

[10] AGUILAR-RIVERA, R.; VALENZUELA-RENDON, M.; RODRIGUEZ-ORTIZ, J.J., Genetic algorithms and Darwinian approaches in financial applications: A survey. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 42, no. 21. pp. 7684–7697. Nov. 2015.

[11] AOUNI, B., Multi-Attribute Portfolio Selection: New Perspectives. *INFOR*. vol. 47, no. 1. pp. 1–4. 2009.

[12] FETHI, M.D.; PASIOURAS, F., Assessing bank efficiency and performance with operational research and artificial intelligence techniques: A survey. *EUROPEAN*

JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH. vol. 204, no. 2. pp. 189–198. Jul. 2010.

[13] GITMAN, L.J.; ZUTTER, C.J., *Principles of Managerial Finance*, 13th ed., vol. 40, no. 2. Prentice Hall, 2014.

[14] ANDERSEN, L.B.; HÄGER, D.; MABERG, S.; NÆSS, M.B.; TUNGLAND, M., The financial crisis in an operational risk management context—A review of causes and influencing factors. *Reliability Engineering & System Safety*. vol. 105. pp. 3–12. 2012.

[15] RÖTHELI, T.F., Causes of the financial crisis: Risk misperception, policy mistakes, and banks' bounded rationality. *Journal Of Socio-Economics*. vol. 39, no. 2. pp. 119–126. 2010.

[16] SHAVERDI, M.; RAMEZANI, I.; TAHMASEBI, R.; ROSTAMY, A.A.A., Combining Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS with Financial Ratios to Design a Novel Performance Evaluation Model. *INTERNATIONAL JOURNAL OF FUZZY SYSTEMS*. vol. 18, no. 2. pp. 248–262. Apr. 2016.

[17] DAMODARAN, A., *Gestão Estratégica do Risco: Uma referência para tomada de riscos empresaiais*. Wharton School Publishing, 2009.

[18] ALMEIDA, A.T., *Processo de decisão nas organizações: Construindo modelos de decisão multicritério*. Atlas, 2013.

[19] ROY, B., *Multicriteria methodology for decision aiding*. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1996.

[20] DE ALMEIDA, A.T.; CAVALCANTE, C.A. V; ALENCAR, M.H.; FERREIRA, R.J.P.; DE ALMEIDA-FILHO, A.T.; GARCEZ, T. V, *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*, vol. 231. 2015.

[21] ZOPOUNIDIS, C.; PARDALOS, P.M., *Hanbook of Multicriteria Analysis*. SPRINGER, 2010.

[22] DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., *Multicriteria decision aid classification methods*, vol. 65. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2002.

[23] MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R., Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples. *J. Of Global Optimization*. vol. 12, no. 2. pp. 157–174. 1998.

[24] JACQUET-LAGRÈZE, E.; SISKOS, Y., Preference disaggregation: 20 Years of MCDA experience. *European Journal Of Operational Research*. vol. 130, no. 2. pp. 233–245. 2001.

[25] BERK, J.B.; DEMARZO, P.; HARFORD, J., *Fundamentals of Corporate Finance*, 2nd ed., vol. 53, no. 9. Prentice Hall, 2011.

[26] RUSCHEL, E.; SANTOS, E.A.P.; FREITAS, E. DE F.R., Industrial maintenance decision-making : A systematic literature review. *Journal Of Intelligent Manufacturing*. vol. 45. pp. 180–194. 2017.

[27] NASCIMENTO, K.R.D.S.; ALENCAR, M.H., Management of risks in natural disasters: A systematic review of the literature on NATECH events. *Journal Of Loss Prevention In The Process Industries*. vol. 44. pp. 347–359. 2016.

[28] LAENGLE, S.; MERIGÓ, J.M.; MIRANDA, J.; SŁOWIŃSKI, R.; BOMZE, I.; BORGONOVO, E.; DYSON, R.G.; OLIVEIRA, J.F.; TEUNTER, R., Forty years of the European Journal of Operational Research: A bibliometric overview. *European Journal Of Operational Research*. vol. 262, no. 3. pp. 803–816. 2017.

[29] DE ALMEIDA, A.T.; FERREIRA, R.J.P.; CAVALCANTE, C.A. V., A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability. *IMA Journal Of Management Mathematics*. vol. 26, no. 3. pp. 249–271. 2015.

[30] DE ALMEIDA, A.T.; ALENCAR, M.H.; GARCEZ, T.V.; FERREIRA, R.J.P., A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management. *IMA Journal Of Management Mathematics*. no. October 2016. p. dpw021. 2016.

[31] AOUNI, B.; COLAPINTO, C.; LA TORRE, D., A cardinality constrained stochastic goal programming model with satisfaction functions for venture capital investment decision making. *ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 205, no. 1. pp. 77–88. 2013.

[32] LI, J.; XU, J., A class of possibilistic portfolio selection model with interval coefficients and its application. *FUZZY OPTIMIZATION AND DECISION MAKING*. vol. 6, no. 2. pp. 123–137. Jun. 2007.

[33] RYOO, H.S., A compact mean-variance-skewness model for large-scale portfolio optimization and its application to the NYSE market. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 58, no. 4. pp. 505–515. 2007.

[34] MISHRA, S.K.; PANDA, G.; MAJHI, R., A comparative performance assessment of a set of multiobjective algorithms for constrained portfolio assets selection. *SWARM AND EVOLUTIONARY COMPUTATION*. vol. 16. pp. 38–51. Jun. 2014.

[35] KHALILI-DAMGHANI, K.; SADI-NEZHAD, S., A decision support system for fuzzy multi-objective multi-period sustainable project selection. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*. vol. 64, no. 4. pp. 1045–1060. Apr. 2013.

[36] ABDELAZIZ, F. BEN; EL FAYEDH, R.; RAO, A., A Discrete Stochastic Goal Program for Portfolio Selection: The Case of United Arab Emirates Equity Market. *INFOR*. vol. 47,

no. 1. pp. 5–13. 2009.

[37] PARRA, M.A.; TEROL, A.B.; URIA, M.V.R., A fuzzy goal programming approach to portfolio selection. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 133, no. 2. pp. 287–297. 2001.

[38] MAGGIS, M.; LA TORRE, D., A Goal Programming Model with Satisfaction Function for Risk Management and Optimal Portfolio Diversification. *INFOR*. vol. 50, no. 3. pp. 117–126. 2012.

[39] 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*. vol. 220. pp. 442–462. Jan. 2013.

[40] RAZI, F.F.; ESHLAGHY, A.T.; NAZEMI, J.; ALBORZI, M.; POUREBRAHIMI, A., A Hybrid Grey Based KOHONEN Model and Biogeography-Based Optimization for Project Portfolio Selection. *JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS*. 2014.

[41] JIANG, M.; HU, Q.Y.; MENG, Z.Q., A method on solving multiobjective conditional value-at-risk, in *COMPUTATIONAL SCIENCE - ICCS 2004, PROCEEDINGS*, 2004, vol. 3039, no. 4, pp. 923–930.

[42] CHANG, C.T., A modified goal programming approach for the mean-absolute deviation portfolio optimization model. *APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATION*. vol. 171, no. 1. pp. 567–572. 2005.

[43] RONYASTRA, I.M.; GUNARTA, I.K.; CIPTOMULYONO, U., A multi criteria decision analysis for reinvestment action portfolio selection problem in an Indonesian real estate company, in *INDUSTRIAL ENGINEERING AND SERVICE SCIENCE 2015, IESS 2015*, 2015, vol. 4, pp. 558–567.

[44] CAPUTO, A.C.; PELAGAGGE, P.M.; SALINI, P., A multicriteria knapsack approach to economic optimization of industrial safety measures. *SAFETY SCIENCE*. vol. 51, no. 1. pp. 354–360. Jan. 2013.

[45] GUPTA, P.; MITTAL, G.; MEHLAWAT, M.K., A multicriteria optimization model of portfolio rebalancing with transaction costs in fuzzy environment. *MEMETIC COMPUTING*. vol. 6, no. 1. pp. 61–74. Mar. 2014.

[46] MEDAGLIA, A.L.; GRAVES, S.B.; RINGUEST, J.L., A multiobjective evolutionary approach for linearly constrained project selection under uncertainty. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 179, no. 3. pp. 869–894. Jun. 2007.

[47] GARCIA, F.; GUIJARRO, F.; MOYA, I., A MULTIOBJECTIVE MODEL FOR PASSIVE

PORTFOLIO MANAGEMENT: AN APPLICATION ON THE S&P 100 INDEX. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 14, no. 4. pp. 758–775. 2013.

[48] MITTAL, G.; MEHLAWAT, M.K., A multiobjective portfolio rebalancing model incorporating transaction costs based on incremental discounts. *OPTIMIZATION*. vol. 63, no. 10, SI. pp. 1595–1613. 2014.

[49] ARASTEH, A.; ALIAHMADI, A.; OMRAN, M.M., A Multi-stage Multi Criteria Model for Portfolio Management. *ARABIAN JOURNAL FOR SCIENCE AND ENGINEERING*. vol. 39, no. 5. pp. 4269–4283. 2014.

[50] MOHAGHEGHI, V.; MOUSAVI, S.M.; VAHDANI, B., A NEW MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION APPROACH FOR SUSTAINABLE PROJECT PORTFOLIO SELECTION: A REAL WORLD APPLICATION UNDER INTERVAL-VALUED FUZZY ENVIRONMENT. *IRANIAN JOURNAL OF FUZZY SYSTEMS*. vol. 13, no. 6. pp. 41–68. 2016.

[51] LIAGKOURAS, K.; METAXIOTIS, K., A new Probe Guided Mutation operator and its application for solving the cardinality constrained portfolio optimization problem. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 41, no. 14. pp. 6274–6290. 2014.

[52] DASH, G.H.; KAJIJI, N., A nonlinear goal programming model for efficient asset-liability management of property-liability insurers. *INFOR*. vol. 43, no. 2. pp. 135–156. May 2005.

[53] KESKIN, R.; KOCADAGLI, O.; CINEMRE, N., A novel fuzzy goal programming approach with preemtive structure for optimal investment decisions. *JOURNAL OF INTELLIGENT & FUZZY SYSTEMS*. vol. 28, no. 2. pp. 633–645. 2015.

[54] KOCADAGLI, O.; KESKIN, R., A novel portfolio selection model based on fuzzy goal programming with different importance and priorities. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 42, no. 20. pp. 6898–6912. Nov. 2015.

[55] ANAGNOSTOPOULOS, K.P.; MAMANIS, G., A portfolio optimization model with three objectives and discrete variables. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*. vol. 37, no. 7. pp. 1285–1297. Jul. 2010.

[56] LITMAN, B.R.; SHRIKHANDE, S.; AHN, H., A portfolio theory approach to network program selection. *JOURNAL OF MEDIA ECONOMICS*. vol. 13, no. 2. pp. 57–79. 2000.

[57] SIMONIAN, J., A satisficing approach to factor portfolio construction. *APPLIED*

ECONOMICS LETTERS. vol. 22, no. 2. pp. 148–152. Jan. 2015.

[58] SAKAR, C.T.; KOKSALAN, M., A stochastic programming approach to multicriteria portfolio optimization. *JOURNAL OF GLOBAL OPTIMIZATION*. vol. 57, no. 2, SI. pp. 299–314. 2013.

[59] STOYAN, S.J.; KWON, R.H., A Stochastic-Goal Mixed-Integer Programming approach for integrated stock and bond portfolio optimization. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*. vol. 61, no. 4. pp. 1285–1295. Nov. 2011.

[60] HASKELL, W.B.; FU, L.; DESSOUKY, M., Ambiguity in risk preferences in robust stochastic optimization. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 254, no. 1. pp. 214–225. 2016.

[61] YANUSHEVSKY, R.; YANUSHEVSKY'S, D., An approach to improve mean-variance portfolio optimization model. *JOURNAL OF ASSET MANAGEMENT*. vol. 16, no. 3. pp. 209–219. May 2015.

[62] CHEN, W., An Artificial Bee Colony Algorithm for Uncertain Portfolio Selection. *SCIENTIFIC WORLD JOURNAL*. 2014.

[63] KALAYCI, C.B.; ERTENLICE, O.; AKYER, H.; AYGOREN, H., An artificial bee colony algorithm with feasibility enforcement and infeasibility toleration procedures for cardinality constrained portfolio optimization. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 85. pp. 61–75. Nov. 2017.

[64] YUE, W.; WANG, Y.; DAI, C., An Evolutionary Algorithm for Multiobjective Fuzzy Portfolio Selection Models with Transaction Cost and Liquidity. *MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING*. 2015.

[65] BILBAO, A.; ARENAS, M.; JIMENEZ, M.; GLADISH, B.P.; RODRIGUEZ, M. V, An extension of sharpe's single-index model: portfolio selection with expert betas. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 57, no. 12. pp. 1442–1451. Dec. 2006.

[66] KIRIS, S.; USTUN, O., An integrated approach for stock evaluation and portfolio optimization. *OPTIMIZATION*. vol. 61, no. 4, SI. pp. 423–441. 2012.

[67] PEREZ GLADISH, B.; JONES, D.F.; TAMIZ, A.; BILBAO TEROL, A., An interactive three-stage model for mutual funds portfolio selection. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 35, no. 1. pp. 75–88. Feb. 2007.

[68] EHRGOTT, M.; KLAMROTH, K.; SCHWEHM, C., An MCDM approach to portfolio optimization. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 155, no. 3. pp. 752–770. Jun. 2004.

[69] GUPTA, P.; MEHLAWAT, M.K.; SAXENA, A., Asset portfolio optimization using fuzzy mathematical programming. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 178, no. 6. pp. 1734–1755. Mar. 2008.

[70] GUPTA, P.; MEHLAWAT, M.K.; MITTAL, G., Asset portfolio optimization using support vector machines and real-coded genetic algorithm. *JOURNAL OF GLOBAL OPTIMIZATION*. vol. 53, no. 2. pp. 297–315. Jun. 2012.

[71] HO, W.-R.J.; TSAI, C.-L.; TZENG, G.-H.; FANG, S.-K., Combined DEMATEL technique with a novel MCDM model for exploring portfolio selection based on CAPM. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 38, no. 1. pp. 16–25. Jan. 2011.

[72] SHEN, K.-Y.; TZENG, G.-H., Combined soft computing model for value stock selection based on fundamental analysis. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 37. pp. 142–155. Dec. 2015.

[73] QUINTANA, D.; GARCIA-RODRIGUEZ, S.; CINCOTTI, S.; ISASI, P., Combining RMT-based filtering with time-stamped resampling for robust portfolio optimization. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTATIONAL INTELLIGENCE SYSTEMS*. vol. 8, no. 5. pp. 874–885. 2015.

[74] NGUYEN, T.T.; GORDON-BROWN, L., Constrained Fuzzy Hierarchical Analysis for Portfolio Selection Under Higher Moments. *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*. vol. 20, no. 4. pp. 666–682. 2012.

[75] MISHRA, S.K.; PANDA, G.; MAJHI, R., Constrained portfolio asset selection using multiobjective bacteria foraging optimization. *OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 14, no. 1. pp. 113–145. Apr. 2014.

[76] JUNG, W.; HAN, S.H.; LEE, K.-W., Country Portfolio Solutions for Global Market Uncertainties. *JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING*. vol. 28, no. 4, SI. pp. 372–381. Oct. 2012.

[77] MEHLAWAT, M.K., Credibilistic mean-entropy models for multi-period portfolio selection with multi-choice aspiration levels. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 345. pp. 9–26. Jun. 2016.

[78] MEHLAWAT, M.K.; GUPTA, P., CREDIBILITY-BASED FUZZY MATHEMATICAL PROGRAMMING MODEL FOR PORTFOLIO SELECTION UNDER UNCERTAINTY. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 13, no. 1. pp. 101–135. Jan. 2014.

[79] ALI, O.G.; AKCAY, Y.; SAYMAN, S.; YILMAZ, E.; OZCELIK, M.H., Cross-Selling

Investment Products with a Win-Win Perspective in Portfolio Optimization. *OPERATIONS RESEARCH*. vol. 65, no. 1. pp. 55–74. 2017.

[80] WESTNER, G.; MADLENER, R., Development of cogeneration in Germany: A mean-variance portfolio analysis of individual technology's prospects in view of the new regulatory framework. *ENERGY*. vol. 36, no. 8. pp. 5301–5313. 2011.

[81] BARRO, D.; CANESTRELLI, E., Downside risk in multiperiod tracking error models. *CENTRAL EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 22, no. 2, SI. pp. 263–283. Jun. 2014.

[82] WANKA, G.; GOHLER, L., Duality for portfolio optimization with short sales. *MATHEMATICAL METHODS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 53, no. 2. pp. 247–263. Jun. 2001.

[83] CHIAM, S.C.; TAN, K.C.; AL MAMUN, A., Dynamic index tracking via multi-objective evolutionary algorithm. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 13, no. 7. pp. 3392–3408. Jul. 2013.

[84] CHANG, Y.-H.; WU, T.-T., Dynamic multi-criteria evaluation of co-evolution strategies for solving stock trading problems. *APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATION*. vol. 218, no. 8. pp. 4075–4089. 2011.

[85] DELLINO, G.; FEDELE, M.; MELONI, C., Dynamic objectives aggregation methods for evolutionary portfolio optimisation. A computational study. *INTERNATIONAL JOURNAL OF BIO-INSPIRED COMPUTATION*. vol. 4, no. 4, SI. pp. 258–270. 2012.

[86] NAGURNEY, A.; CRUZ, J., Dynamics of international financial networks with risk management. *QUANTITATIVE FINANCE*. vol. 4, no. 3. pp. 276–291. Jun. 2004.

[87] CHOU, Y.C.; WU, C.S., Economic analysis and optimization of tool portfolio in semiconductor manufacturing. *IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING*. vol. 15, no. 4. pp. 447–453. Nov. 2002.

[88] LIAGKOURAS, K.; METAXIOTIS, K., Efficient Portfolio Construction with the Use of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Best Practices and Performance Metrics. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 14, no. 3. pp. 535–564. 2015.

[89] BRITO, R.P.; SEBASTIAO, H.; GODINHO, P., Efficient skewness/semivariance portfolios. *JOURNAL OF ASSET MANAGEMENT*. vol. 17, no. 5. pp. 331–346. 2016.

[90] PATARI, E.; LEIVO, T.; HONKAPURO, S., Enhancement of equity portfolio performance using data envelopment analysis. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL*

RESEARCH. vol. 220, no. 3. pp. 786–797. Aug. 2012.

[91] LUNA, F.; QUINTANA, D.; GARCIA, S.; ISASI, P., Enhancing Financial Portfolio Robustness with an Objective Based on epsilon-Neighborhoods. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 15, no. 3. pp. 479–515. 2016.

[92] CHANG, H.J.; CHIEN, C.-M.; HSIAO, C.Y., Equality investment strategy evaluation during the financial crisis: Using TOPSIS approach. *AFRICAN JOURNAL OF BUSINESS MANAGEMENT*. vol. 5, no. 28. pp. 11539–11545. Nov. 2011.

[93] JOSHI, N.N.; LAMBERT, J.H., Equity metrics with risk, performance, and cost objectives for the prioritization of transportation projects. *IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*. vol. 54, no. 3. pp. 539–547. 2007.

[94] XIDONAS, P.; MAVROTAS, G.; PSARRAS, J., Equity portfolio construction and selection using multiobjective mathematical programming. *JOURNAL OF GLOBAL OPTIMIZATION*. vol. 47, no. 2. pp. 185–209. Jun. 2010.

[95] GUPTA, P.; MITTAL, G.; MEHLAWAT, M.K., Expected value multiobjective portfolio rebalancing model with fuzzy parameters. *INSURANCE MATHEMATICS & ECONOMICS*. vol. 52, no. 2. pp. 190–203. Mar. 2013.

[96] GARCIA, S.; QUINTANA, D.; GALVAN, I.M.; ISASI, P., Extended mean-variance model for reliable evolutionary portfolio optimization. *AI COMMUNICATIONS*. vol. 27, no. 3. pp. 315–324. 2014.

[97] NAGURNEY, A.; KE, K., Financial networks with intermediation: Risk management with variable weights. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 172, no. 1. pp. 40–63. Jul. 2006.

[98] CALVO, C.; IVORRA, C.; LIERN, V., Finding socially responsible portfolios close to conventional ones. *INTERNATIONAL REVIEW OF FINANCIAL ANALYSIS*. vol. 40. pp. 52–63. Jul. 2015.

[99] YAAKOB, A.M.; SERGUIEVA, A.; GEGOV, A., FN-TOPSIS: Fuzzy Networks for Ranking Traded Equities. *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*. vol. 25, no. 2, SI. pp. 315–332. 2017.

[100] JAHAN, M.V.; AKBARZADEH-TOTONCHI, M.-R., From Local Search to Global Conclusions: Migrating Spin Glass-Based Distributed Portfolio Selection. *IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION*. vol. 14, no. 4. pp. 591–601. 2010.

[101] ALIEV, R.; ABIYEV, R.; MENEKAY, M., FUZZY APPROACH TO PORTFOLIO SELECTION USING GENETIC ALGORITHMS. *INTELLIGENT AUTOMATION AND SOFT COMPUTING*. vol. 14, no. 4. pp. 525–540. 2008.

[102] MEHLAWAT, M.K.; GUPTA, P., Fuzzy Chance-Constrained Multiobjective Portfolio Selection Model. *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*. vol. 22, no. 3. pp. 653–671. Jun. 2014.

[103] PAI, G.A.V., Fuzzy Decision Theory Based Metaheuristic Portfolio Optimization and Active Rebalancing Using Interval Type-2 Fuzzy Sets. *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*. vol. 25, no. 2, SI. pp. 377–391. 2017.

[104] LIU, Y.-J.; ZHANG, W.-G.; XU, W.-J., Fuzzy multi-period portfolio selection optimization models using multiple criteria. *AUTOMATICA*. vol. 48, no. 12. pp. 3042–3053. 2012.

[105] NGUYEN, T.T.; GORDON-BROWN, L.; KHOSRAVI, A.; CREIGHTON, D.; NAHAVANDI, S., Fuzzy Portfolio Allocation Models Through a New Risk Measure and Fuzzy Sharpe Ratio. *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*. vol. 23, no. 3. pp. 656–676. Jun. 2015.

[106] TIRYAKI, F.; AHLATCIOGLU, B., Fuzzy portfolio selection using fuzzy analytic hierarchy process. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 179, no. 1–2. pp. 53–69. Jan. 2009.

[107] TIRYAKI, F.; AHLATCIOGLU, M., Fuzzy stock selection using a new fuzzy ranking and weighting algorithm. *APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATION*. vol. 170, no. 1. pp. 144–157. Nov. 2005.

[108] LEJEUNE, M.A., Game Theoretical Approach for Reliable Enhanced Indexation. *DECISION ANALYSIS*. vol. 9, no. 2, SI. pp. 146–155. Jun. 2012.

[109] EL-ABBASY, M.S.; ELAZOUNI, A.; ZAYED, T., Generic Scheduling Optimization Model for Multiple Construction Projects. *JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING*. vol. 31, no. 4. Jul. 2017.

[110] RUIZ-TORRUBIANO, R.; SUAREZ, A., Hybrid Approaches and Dimensionality Reduction for Portfolio Selection with Cardinality Constraints. *IEEE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE MAGAZINE*. vol. 5, no. 2. pp. 92–107. 2010.

[111] FERNANDEZ, E.; GOMEZ, C.; RIVERA, G.; CRUZ-REYES, L., Hybrid metaheuristic approach for handling many objectives and decisions on partial support in project portfolio optimisation. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 315. pp. 102–122. 2015.

[112] GUPTA, P.; MEHLAWAT, M.K.; SAXENA, A., Hybrid optimization models of portfolio selection involving financial and ethical considerations. *KNOWLEDGE-BASED*

SYSTEMS. vol. 37. pp. 318–337. Jan. 2013.

[113] REZAIE, M.H.; GHAHTARANI, A.; NAJAFI, A.A., IDEAL AND ANTI-IDEAL COMPROMISE PROGRAMMING FOR ROBUST Bi-OBJECTIVE PORTFOLIO SELECTION PROBLEM. *ECONOMIC COMPUTATION AND ECONOMIC CYBERNETICS STUDIES AND RESEARCH*. vol. 49, no. 2. pp. 307–321. 2015.

[114] NEUMUELLER, C.; LASCH, R.; KELLNER, F., Integrating sustainability into strategic supplier portfolio selection. *MANAGEMENT DECISION*. vol. 54, no. 1. pp. 194–221. 2016.

[115] ENGAU, A.; WIECEK, M.M., Interactive coordination of objective decompositions in multiobjective programming. *MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 54, no. 7. pp. 1350–1363. Jul. 2008.

[116] SADATRASOUL, S.M.; GHOLAMIAN, M.; SHAHANAGHI, K., Investigating the Effect of Selected Sustainable Development Indicators on Credit Allocation: the Case of National Development Fund of Iran. *IRANIAN JOURNAL OF MANAGEMENT STUDIES*. vol. 8, no. 3. pp. 453–477. 2015.

[117] JANO-ITO, M.A.; CRAWFORD-BROWN, D., Investment decisions considering economic, environmental and social factors: An actors' perspective for the electricity sector of Mexico. *ENERGY*. vol. 121. pp. 92–106. 2017.

[118] XIDONAS, P.; MAVROTAS, G.; ZOPOUNIDIS, C.; PSARRAS, J., IPSSIS: An integrated multicriteria decision support system for equity portfolio construction and selection. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 210, no. 2. pp. 398–409. 2011.

[119] QU, B.Y.; ZHOU, Q.; XIAO, J.M.; LIANG, J.J.; SUGANTHAN, P.N., Large-Scale Portfolio Optimization Using Multiobjective Evolutionary Algorithms and Preselection Methods. *MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING*. 2017.

[120] DRENOVAK, M.; RANKOVIC, V.; IVANOVIC, M.; UROSEVIC, B.; JELIC, R., Market risk management in a post-Basel II regulatory environment. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 257, no. 3. pp. 1030–1044. Mar. 2017.

[121] MACEDO, L.L.; GODINHO, P.; ALVES, M.J., Mean-semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis rules. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 79. pp. 33–43. 2017.

[122] RANKOVIC, V.; DRENOVAK, M.; UROSEVIC, B.; JELIC, R., Mean-univariate GARCH VaR portfolio optimization: Actual portfolio approach. *COMPUTERS & OPERATIONS*

RESEARCH. vol. 72. pp. 83–92. Aug. 2016.

[123] LWIN, K.T.; QU, R.; MACCARTHY, B.L., Mean-VaR portfolio optimization: A nonparametric approach. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 260, no. 2. pp. 751–766. Jul. 2017.

[124] GUAN, G.; LIANG, Z., Mean-variance efficiency of DC pension plan under stochastic interest rate and mean-reverting returns. *INSURANCE MATHEMATICS & ECONOMICS*. vol. 61. pp. 99–109. Mar. 2015.

[125] ELAHI, Y.; ABD AZIZ, M.I., Mean-Variance-CvaR Model of Multiportfolio Optimization via Linear Weighted Sum Method. *MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING*. 2014.

[126] BENTH, F.E.; KARLSEN, K.H.; REIKVAM, K., Merton's portfolio optimization problem in a Black and Scholes market with non-Gaussian stochastic volatility of Ornstein-Uhlenbeck type. *MATHEMATICAL FINANCE*. vol. 13, no. 2. pp. 215–244. 2003.

[127] SEITZ, W.; LA TORRE, D., Modelling Investment Optimization on Smallholder Farms through Multiple Criteria Decision Making and Goal Programming: A Case Study from Ethiopia. *INFOR*. vol. 52, no. 3. pp. 97–107. 2014.

[128] YU, L.; WANG, S.; LAI, K.K., Multi-Attribute Portfolio Selection with Genetic Optimization Algorithms. *INFOR*. vol. 47, no. 1. pp. 23–30. 2009.

[129] GARCIA, S.; QUINTANA, D.; GALVAN, I.M.; ISASI, P., MULTIOBJECTIVE ALGORITHMS WITH RESAMPLING FOR PORTFOLIO OPTIMIZATION. *COMPUTING AND INFORMATICS*. vol. 32, no. 4. pp. 777–796. 2013.

[130] GUPTA, P.; INUIGUCHI, M.; MEHLAWAT, M.K.; MITTAL, G., Multiobjective credibilistic portfolio selection model with fuzzy chance-constraints. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 229. pp. 1–17. 2013.

[131] METAXIOTIS, K.; LIAGKOURAS, K., Multiobjective Evolutionary Algorithms for Portfolio Management: A comprehensive literature review. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 39, no. 14. pp. 11685–11698. Oct. 2012.

[132] GUPTA, P.; MITTAL, G.; MEHLAWAT, M.K., Multiobjective expected value model for portfolio selection in fuzzy environment. *OPTIMIZATION LETTERS*. vol. 7, no. 8. pp. 1765–1791. 2013.

[133] WANG, B.; WATADA, J., Multiobjective particle swarm optimization for a novel fuzzy portfolio selection problem. *IEEJ TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING*. vol. 8, no. 2. pp. 146–154. Mar. 2013.

[134] MENDES, R.R.A.; PAIVA, A.P.; PERUCHI, R.S.; BALESTRASSI, P.P.; LEME, R.C.; SILVA, M.B., Multiobjective portfolio optimization of ARMA-GARCH time series based on experimental designs. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*. vol. 66. pp. 434–444. 2016.

[135] XIDONAS, P.; MAVROTAS, G., Multiobjective portfolio optimization with non-convex policy constraints: Evidence from the Eurostoxx 50. *EUROPEAN JOURNAL OF FINANCE*. vol. 20, no. 11. pp. 957–977. Nov. 2014.

[136] EHRGOTT, M.; WATERS, C.; KASIMBEYLI, R.; USTUN, O., Multiobjective Programming and Multiattribute Utility Functions in Portfolio Optimization. *INFOR*. vol. 47, no. 1. pp. 31–42. 2009.

[137] EKHTIARI, M.; ALINEZHAD, A., MULTI-OBJECTIVE PROGRAMMING UNDER UNCERTAINTY TO SELECT PORTFOLIO: A CASE STUDY IN STOCK EXCHANGE MARKET OF IRAN. *ECONOMIC COMPUTATION AND ECONOMIC CYBERNETICS STUDIES AND RESEARCH*. vol. 48, no. 3. pp. 333–351. 2014.

[138] BALBAS, A.; MAYORAL, S., Nonconvex optimization for pricing and hedging in imperfect markets. *COMPUTERS & MATHEMATICS WITH APPLICATIONS*. vol. 52, no. 1–2. pp. 121–136. Jul. 2006.

[139] PREDA, V.; CIUMARA, R., On insurer portfolio optimization. An underwriting risk model. *ROMANIAN JOURNAL OF ECONOMIC FORECASTING*. vol. 9, no. 1. pp. 102–118. 2008.

[140] DASH JR., G.H.; KAJIJI, N., On multiobjective combinatorial optimization and dynamic interim hedging of efficient portfolios. *INTERNATIONAL TRANSACTIONS IN OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 21, no. 6. pp. 899–918. Nov. 2014.

[141] AHMED, E.; EL-ALEM, M., On multiobjective optimization in portfolio management. *APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATION*. vol. 167, no. 1. pp. 616–621. 2005.

[142] TAMIZ, M.; AZMI, R.A.; JONES, D.F., On selecting portfolio of international mutual funds using goal programming with extended factors. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 226, no. 3. pp. 560–576. May 2013.

[143] AMMAR, E.E., On solutions of fuzzy random multiobjective quadratic programming with applications in portfolio problem. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 178, no. 2. pp. 468–484. Jan. 2008.

[144] PENDARAKI, K.; ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M., On the construction of mutual fund portfolios: A multicriteria methodology and an application to the Greek market of equity

mutual funds. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 163, no. 2. pp. 462–481. Jun. 2005.

[145] GIESECKE, K.; KIM, B.; KIM, J.; TSOUKALAS, G., Optimal Credit Swap Portfolios. *MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 60, no. 9. pp. 2291–2307. 2014.

[146] GENG, J.-B.; JI, Q.; FAN, Y.; SHAIKH, F., Optimal LNG importation portfolio considering multiple risk factors. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. vol. 151. pp. 452–464. 2017.

[147] PARDALOS, P.M.; STEPONAVICE, I.; ZILINSKAS, A., Pareto set approximation by the method of adjustable weights and successive lexicographic goal programming. *OPTIMIZATION LETTERS*. vol. 6, no. 4. pp. 665–678. 2012.

[148] GONZALEZ-CARRASCO, I.; COLOMO-PALACIOS, R.; LUIS LOPEZ-CUADRADO, J.; GARCIA-CRESPO, A.; RUIZ-MEZCUA, B., PB-ADVISOR: A private banking multi-investment portfolio advisor. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 206. pp. 63–82. Nov. 2012.

[149] ABOUL-ENEIN, S.; DIONNE, G.; PAPAGEORGIOU, N., Performance analysis of a collateralized fund obligation (CFO) equity tranche. *EUROPEAN JOURNAL OF FINANCE*. vol. 19, no. 6. pp. 518–553. Jul. 2013.

[150] XIDONAS, P.; MAVROTAS, G.; PSARRAS, J., Portfolio construction on the Athens Stock Exchange: a multiobjective optimization approach. *OPTIMIZATION*. vol. 59, no. 8. pp. 1211–1229. 2010.

[151] KUMAR, D.; MISHRA, K.K., Portfolio optimization using novel co-variance guided Artificial Bee Colony algorithm. *SWARM AND EVOLUTIONARY COMPUTATION*. vol. 33. pp. 119–130. 2017.

[152] RODRIGUEZ, R.; LUQUE, M.; GONZALEZ, M., Portfolio selection in the Spanish stock market by interactive multiobjective programming. *TOP*. vol. 19, no. 1. pp. 213–231. Jul. 2011.

[153] HASUIKE, T.; KATAGIRI, H.; ISHII, H., Portfolio selection problems with random fuzzy variable returns. *FUZZY SETS AND SYSTEMS*. vol. 160, no. 18. pp. 2579–2596. 2009.

[154] MATSUMURA, K.; KAKINOKI, H., Portfolio Strategy Optimizing Model for Risk Management Utilizing Evolutionary Computation. *ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS IN JAPAN*. vol. 97, no. 8. pp. 45–62. Aug. 2014.

[155] INUIGUCHI, M.; RAMIK, J., Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem. *FUZZY SETS AND SYSTEMS*. vol. 111, no. 1. pp. 3–28. 2000.

[156] EMELICHEV, V.; KOROTKOV, V., POST-OPTIMAL ANALYSIS IN A MULTICRITERIA BOOLEAN PROBLEM OF INVESTMENT RISK MANAGEMENT BASED ON MARKOWITZ PORTFOLIO THEORY. *APPLIED AND COMPUTATIONAL MATHEMATICS*. vol. 12, no. 3. pp. 339–347. 2013.

[157] MISHRA, S.K.; PANDA, G.; MAJHI, B., Prediction based mean-variance model for constrained portfolio assets selection using multiobjective evolutionary algorithms. *SWARM AND EVOLUTIONARY COMPUTATION*. vol. 28. pp. 117–130. Jun. 2016.

[158] BALLESTERO, E., Project finance: a multi-criteria approach to arbitration. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 51, no. 2. pp. 183–197. Feb. 2000.

[159] GHAHTARANI, A.; NAJAFI, A.A., Robust goal programming for multi-objective portfolio selection problem. *ECONOMIC MODELLING*. vol. 33. pp. 588–592. Jul. 2013.

[160] XIDONAS, P.; HASSAPIS, C.; SOULIS, J.; SAMITAS, A., Robust minimum variance portfolio optimization modelling under scenario uncertainty. *ECONOMIC MODELLING*. vol. 64. p. 60+. 2017.

[161] FLIEGE, J.; WERNER, R., Robust multiobjective optimization & applications in portfolio optimization. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 234, no. 2. pp. 422–433. 2014.

[162] XIDONAS, P.; MAVROTAS, G.; HASSAPIS, C.; ZOPOUNIDIS, C., Robust multiobjective portfolio optimization: A minimax regret approach. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 262, no. 1. pp. 299–305. 2017.

[163] HASSANZADEH, F.; NEMATI, H.; SUN, M., Robust optimization for interactive multiobjective programming with imprecise information applied to R&D project portfolio selection. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 238, no. 1. pp. 41–53. 2014.

[164] LING, A.; XU, C., Robust portfolio selection involving options under a ``marginal plus joint{''} ellipsoidal uncertainty set. *JOURNAL OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS*. vol. 236, no. 14. pp. 3373–3393. 2012.

[165] BALLESTERO, E.; PEREZ-GLADISH, B.; ARENAS-PARRA, M.; BILBAO-TEROL, A., Selecting Portfolios Given Multiple Eurostoxx-Based Uncertainty Scenarios: A Stochastic Goal Programming Approach from Fuzzy Betas. *INFOR*. vol. 47, no. 1. pp. 59–70. Feb. 2009.

[166] BILBAO-TEROL, A.; PEREZ-GLADISH, B.; ANTOMIL-LBIAS, J., Selecting the optimum portfolio using fuzzy compromise programming and Sharpe's single-index model.

APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATION. vol. 182, no. 1. pp. 644–664. Nov. 2006.

[167] HEYDE, F.; LOEHNE, A.; TAMMER, C., Set-valued duality theory for multiple objective linear programs and application to mathematical finance. *MATHEMATICAL METHODS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 69, no. 1. pp. 159–179. Mar. 2009.

[168] KREMMEL, T.; KUBALIK, J.; BIFFL, S., Software project portfolio optimization with advanced multiobjective evolutionary algorithms. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 11, no. 1. pp. 1416–1426. Jan. 2011.

[169] SANCHEZ, E.M.; CLEMPNER, J.B.; POZNYAK, A.S., Solving the mean-variance customer portfolio in Markov chains using iterated quadratic/Lagrange programming: A credit-card customer limits approach. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 42, no. 12. pp. 5315–5327. Jul. 2015.

[170] GEORGE, E.D.; FARID, S.S., Stochastic Combinatorial Optimization Approach to Biopharmaceutical Portfolio Management. *INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH*. vol. 47, no. 22. pp. 8762–8774. Nov. 2008.

[171] NI, H.; WANG, Y., Stock index tracking by Pareto efficient genetic algorithm. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 13, no. 12. pp. 4519–4535. 2013.

[172] STEUER, R.E.; QI, Y.; HIRSCHBERGER, M., Suitable-portfolio investors, nondominated frontier sensitivity, and the effect of multiple objectives on standard portfolio selection. *ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 152. pp. 297–317. 2007.

[173] BALBAS, A.; GUERRA, P.J.; MUNOZ-BOUZO, M.J., The balance space approach in optimization with Riesz spaces valued objectives. An application to financial markets. *COMPUTERS & MATHEMATICS WITH APPLICATIONS*. vol. 44, no. 7. pp. 887–897. 2002.

[174] RANKOVIC, V.; DRENOVAK, M.; STOJANOVIC, B.; KALINIC, Z.; ARSOVSKI, Z., The mean-Value at Risk static portfolio optimization using genetic algorithm. *COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION SYSTEMS*. vol. 11, no. 1. pp. 89–109. Jan. 2014.

[175] ANAGNOSTOPOULOS, K.P.; MAMANIS, G., The mean-variance cardinality constrained portfolio optimization problem: An experimental evaluation of five multiobjective evolutionary algorithms. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 38, no. 11. pp. 14208–14217. 2011.

[176] WU, L.-C.; TSAI, I.-C., Three fuzzy goal programming models for index portfolios. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 65, no. 8. pp. 1155–

1169. 2014.

[177] GARCIA, S.; QUINTANA, D.; GALVAN, I.M.; ISASI, P., Time-stamped resampling for robust evolutionary portfolio optimization. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 39, no. 12. pp. 10722–10730. 2012.

[178] WU, L.-C.; WU, L.-H., Tracking a benchmark index - using a spreadsheet-based decision support system as the driver. *EXPERT SYSTEMS*. vol. 30, no. 1. pp. 79–88. 2013.

[179] ENGAU, A., Tradeoff-based decomposition and decision-making in multiobjective programming. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 199, no. 3. pp. 883–891. 2009.

[180] LEUNG, M.T.; DAOUK, H.; CHEN, A.S., Using investment portfolio return to combine forecasts: A multiobjective approach. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 134, no. 1. pp. 84–102. Oct. 2001.

[181] BALBAS, A.; MAYORAL, S., Vector optimization approach for pricing and hedging in imperfect markets. *INFOR*. vol. 42, no. 3. pp. 217–233. 2004.

[182] CHEN, F.-H.; HSU, T.-S.; TZENG, G.-H., A balanced scorecard approach to establish a performance evaluation and relationship model for hot spring hotels based on a hybrid MCDM model combining DEMATEL and ANP. *INTERNATIONAL JOURNAL OF HOSPITALITY MANAGEMENT*. vol. 30, no. 4. pp. 908–932. Dec. 2011.

[183] LEE, P.T.-W.; LIN, C.-W.; SHIN, S.-H., A comparative study on financial positions of shipping companies in Taiwan and Korea using entropy and grey relation analysis. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 39, no. 5. pp. 5649–5657. Apr. 2012.

[184] KIM, H.-S.; KIM, Y.-G., A CRM performance measurement framework: Its development process and application. *INDUSTRIAL MARKETING MANAGEMENT*. vol. 38, no. 4. pp. 477–489. May 2009.

[185] AFFUL-DADZIE, E.; AFFUL-DADZIE, A., A decision making model for selecting start-up businesses in a government venture capital scheme. *MANAGEMENT DECISION*. vol. 54, no. 3. pp. 714–734. 2016.

[186] KUCUKALTAN, B.; IRANI, Z.; AKTAS, E., A decision support model for identification and prioritization of key performance indicators in the logistics industry. *COMPUTERS IN HUMAN BEHAVIOR*. vol. 65. pp. 346–358. Dec. 2016.

[187] LEE, A.H.I.; CHEN, W.-C.; CHANG, C.-J., A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 34, no. 1. pp. 96–107. Jan. 2008.

[188] GOVINDAN, K.; KHODAVERDI, R.; JAFARIAN, A., A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. vol. 47. pp. 345–354. May 2013.

[189] BAYRAKDAROGLU, A.; YALCIN, N., A Fuzzy Multi-Criteria Evaluation of the Operational Risk Factors for the State-Owned and Privately-Owned Commercial Banks in Turkey. *HUMAN AND ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT*. vol. 19, no. 2. pp. 443–461. Mar. 2013.

[190] GARCIA, F.; GUIJARRO, F.; MOYA, I., A goal programming approach to estimating performance weights for ranking firms. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*. vol. 37, no. 9. pp. 1597–1609. Sep. 2010.

[191] CHANG, S.-C.; TSAI, P.-H., A HYBRID FINANCIAL PERFORMANCE EVALUATION MODEL FOR WEALTH MANAGEMENT BANKS FOLLOWING THE GLOBAL FINANCIAL CRISIS. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 22, no. 1. pp. 21–46. Jan. 2016.

[192] TAVANA, M.; KHALILI-DAMGHANI, K.; RAHMATIAN, R., A hybrid fuzzy MCDM method for measuring the performance of publicly held pharmaceutical companies. *ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 226, no. 1. pp. 589–621. Mar. 2015.

[193] LEE, S.; SEO, K.-K., A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Model for a Cloud Service Selection Problem Using BSC, Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP. *WIRELESS PERSONAL COMMUNICATIONS*. vol. 86, no. 1, SI. pp. 57–75. Jan. 2016.

[194] XIDONAS, P.; MAVROTAS, G.; PSARRAS, J., A multicriteria methodology for equity selection using financial analysis. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*. vol. 36, no. 12, SI. pp. 3187–3203. Dec. 2009.

[195] SHEN, K.-Y.; TZENG, G.-H., A new approach and insightful financial diagnoses for the IT industry based on a hybrid MADM model. *KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS*. vol. 85. pp. 112–130. Sep. 2015.

[196] VARMAZYAR, M.; DEHGHANBAGHI, M.; AFKHAMI, M., A novel hybrid MCDM model for performance evaluation of research and technology organizations based on BSC approach. *EVALUATION AND PROGRAM PLANNING*. vol. 58. pp. 125–140. Oct. 2016.

[197] GALARIOTIS, E.; GUYOT, A.; DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., A novel multi-attribute benchmarking approach for assessing the financial performance of local governments: Empirical evidence from France. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL*

RESEARCH. vol. 248, no. 1. pp. 301–317. Jan. 2016.

[198] MITKOVA, V.; MLYNAROVIC, V.; TUS, B., A performance and risk analysis on the Slovak private pension funds market. *EKONOMICKY CASOPIS*. vol. 55, no. 3. pp. 232–249. 2007.

[199] OU, J.-R.; FU, H.-P.; HU, K.-Y.; CHU, K.-K.; CHIOU, C.-H., A study on performance tracing of the e-MP policy. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 38, no. 6. pp. 6606–6611. Jun. 2011.

[200] IC, Y.T., A TOPSIS based design of experiment approach to assess company ranking. *APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATION*. vol. 227. pp. 630–647. Jan. 2014.

[201] FERREIRA, F.A.F.; SANTOS, S.P.; RODRIGUES, P.M.M., Adding value to bank branch performance evaluation using cognitive maps and MCDA: a case study. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 62, no. 7. pp. 1320–1333. Jul. 2011.

[202] BALEZENTIS, A.; BALEZENTIS, T.; MISIUNAS, A., AN INTEGRATED ASSESSMENT OF LITHUANIAN ECONOMIC SECTORS BASED ON FINANCIAL RATIOS AND FUZZY MCDM METHODS. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 18, no. 1. pp. 34–53. Mar. 2012.

[203] MOGHIMI, R.; ANVARI, A., An integrated fuzzy MCDM approach and analysis to evaluate the financial performance of Iranian cement companies. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY*. vol. 71, no. 1–4. pp. 685–698. Mar. 2014.

[204] TSAI, W.-H.; YANG, C.-C.; LEU, J.-D.; LEE, Y.-F.; YANG, C.-H., An Integrated Group Decision Making Support Model for Corporate Financing Decisions. *GROUP DECISION AND NEGOTIATION*. vol. 22, no. 6. pp. 1103–1127. Nov. 2013.

[205] DELBARI, S.A.; NG, S.I.; AZIZ, Y.A.; HO, J.A., An investigation of key competitiveness indicators and drivers of full-service airlines using Delphi and AHP techniques. *JOURNAL OF AIR TRANSPORT MANAGEMENT*. vol. 52. pp. 23–34. Apr. 2016.

[206] KSENIJA, M.; BORIS, D.; SNEZANA, K.; SLADJANA, B., Analysis of the efficiency of insurance companies in Serbia using the fuzzy AHP and TOPSIS methods. *ECONOMIC RESEARCH-EKONOMSKA ISTRAZIVANJA*. vol. 30, no. 1. pp. 550–565. 2017.

[207] KAZAN, H.; ERTOK, M.; CIFTCI, C., Application of a Hybrid Method in the Financial Analysis of Firm Performance, in *WORLD CONFERENCE ON TECHNOLOGY, INNOVATION AND ENTREPRENEURSHIP*, 2015, pp. 403–412.

[208] YALCIN, N.; BAYRAKDAROGLU, A.; KAHRAMAN, C., Application of fuzzy multi-criteria

decision making methods for financial performance evaluation of Turkish manufacturing industries. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 39, no. 1. pp. 350–364. Jan. 2012.

[209] WANG, Y.-J., Applying FMCDM to evaluate financial performance of domestic airlines in Taiwan. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 34, no. 3. pp. 1837–1845. Apr. 2008.

[210] SAFAEI GHADIKOLAEI, A.; KHALILI ESBOUEI, S.; ANTUCHEVICIENE, J., APPLYING FUZZY MCDM FOR FINANCIAL PERFORMANCE EVALUATION OF IRANIAN COMPANIES. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 20, no. 2. pp. 274–291. Jun. 2014.

[211] LIN, Y.H.; CHEN, C.-C.; TSAI, C.F.M.; TSENG, M.-L., Balanced scorecard performance evaluation in a closed-loop hierarchical model under uncertainty. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 24. pp. 1022–1032. Nov. 2014.

[212] PETIT, P.J., Business optimization for platinum mining projects and operations. *JOURNAL OF THE SOUTHERN AFRICAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY*. vol. 116, no. 2. pp. 123–130. Feb. 2016.

[213] SHEN, K.-Y.; TZENG, G.-H., COMBINING DRSA DECISION-RULES WITH FCA-BASED DANP EVALUATION FOR FINANCIAL PERFORMANCE IMPROVEMENTS. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 22, no. 5. pp. 685–714. Sep. 2016.

[214] WANG, Y.-J., Combining grey relation analysis with FMCGDM to evaluate financial performance of Taiwan container lines. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 36, no. 2. pp. 2424–2432. Mar. 2009.

[215] CELEN, A., Comparative Analysis of Normalization Procedures in TOPSIS Method: With an Application to Turkish Deposit Banking Market. *INFORMATICA*. vol. 25, no. 2. pp. 185–208. 2014.

[216] PARFENOVA, L.; PUGACHEV, A.; PODVIEZKO, A., COMPARATIVE ANALYSIS OF TAX CAPACITY IN REGIONS OF RUSSIA. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 22, no. 6. pp. 905–925. Nov. 2016.

[217] KRIVKA, A., COMPLEX EVALUATION OF THE ECONOMIC CRISIS IMPACT ON LITHUANIAN INDUSTRIES. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 15, no. 2. pp. 299–315. 2014.

[218] SHEN, K.-Y., Compromise between Short- and Long-Term Financial Sustainability: A

Hybrid Model for Supporting R&D Decisions. *SUSTAINABILITY*. vol. 9, no. 3. Mar. 2017.

[219] FENG, C.M.; WANG, R.T., Considering the financial ratios on the performance evaluation of highway bus industry. *TRANSPORT REVIEWS*. vol. 21, no. 4. pp. 449–467. 2001.

[220] KILDIENE, S.; KAKLAUSKAS, A.; ZAVADSKAS, E.K., COPRAS BASED COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EUROPEAN COUNTRY MANAGEMENT CAPABILITIES WITHIN THE CONSTRUCTION SECTOR IN THE TIME OF CRISIS. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 12, no. 2. pp. 417–434. Jun. 2011.

[221] BRAUERS, W.K.M.; GINEVICIUS, R.; PODVIEZKO, A., Development of a Methodology of Evaluation of Financial Stability of Commercial Banks. *PANOECONOMICUS*. vol. 61, no. 3. pp. 349–367. 2014.

[222] SINGH, R.K.; MURTY, H.R.; GUPTA, S.K.; DIKSHIT, A.K., Development of composite sustainability performance index for steel industry. *ECOLOGICAL INDICATORS*. vol. 7, no. 3. pp. 565–588. Jul. 2007.

[223] SHEN, K.-Y.; TZENG, G.-H., DRSA-Based Neuro-Fuzzy Inference Systems for the Financial Performance Prediction of Commercial Banks. *INTERNATIONAL JOURNAL OF FUZZY SYSTEMS*. vol. 16, no. 2. pp. 173–183. Jun. 2014.

[224] PROCHAZKOVA, P.T.; KRECHOVSKA, M.; LUKAS, L., EFFECTIVENESS OF ENTREPRENEURSHIP POLICIES: SOME EVALUATION RESEARCH PERSPECTIVES. *AMFITEATRU ECONOMIC*. vol. 17, no. 39. pp. 706–722. May 2015.

[225] ESANGBEDO, M.O.; CHE, A., Evaluating Business Environment in Africa Using Grey Number Weights. *JOURNAL OF GREY SYSTEM*. vol. 28, no. 3. pp. 26–47. 2016.

[226] WANG, Y.-J.; LEE, H.-S., Evaluating financial performance of Taiwan container shipping companies by strength and weakness indices. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER MATHEMATICS*. vol. 87, no. 1. pp. 38–52. 2010.

[227] REZAIE, K.; RAMIYANI, S.S.; NAZARI-SHIRKOUHI, S.; BADIZADEH, A., Evaluating performance of Iranian cement firms using an integrated fuzzy AHP-VIKOR method. *APPLIED MATHEMATICAL MODELLING*. vol. 38, no. 21–22. pp. 5033–5046. Nov. 2014.

[228] MIRZAEI, A.; TABIBI, S.J.; NASIRIPOUR, A.A.; RIAHI, L., Evaluating the Feasibility of Financial Variables of Health: A Hospital Administrator's Viewpoint. *GALEN MEDICAL JOURNAL*. vol. 5, no. 1. pp. 25–30. Mar. 2016.

[229] KALOGERAS, N.; BAOURAKIS, G.; ZOPOUNIDIS, C.; VAN DIJK, G., Evaluating the financial performance of agri-food firms: a multicriteria decision-aid approach. *JOURNAL OF FOOD ENGINEERING*. vol. 70, no. 3. pp. 365–371. Oct. 2005.

[230] ZHAO, H.; LI, N., Evaluating the performance of thermal power enterprises using sustainability balanced scorecard, fuzzy Delphic and hybrid multi-criteria decision making approaches for sustainability. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. vol. 108, no. A. pp. 569–582. Dec. 2015.

[231] HAJKOWICZ, S.; SPENCER, R.; HIGGINS, A.; MARINONI, O., Evaluating water quality investments using cost utility analysis. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*. vol. 88, no. 4. pp. 1601–1610. 2008.

[232] NOBAKHT, A.; NOBAKHT, H.; SORAYAEI, A., Evaluation and Grading the Financial Performance of Financial Investment Firm Accepted in Tehran Exchange: Applying AHP, Shanon and Topsis. *LIFE SCIENCE JOURNAL-ACTA ZHENGZHOU UNIVERSITY OVERSEAS EDITION*. vol. 9, no. 3. pp. 1898–1903. 2012.

[233] SHEN, K.-Y.; HU, S.-K.; TZENG, G.-H., Financial modeling and improvement planning for the life insurance industry by using a rough knowledge based hybrid MCDM model. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 375. pp. 296–313. Jan. 2017.

[234] WU, C.-R.; LIN, C.-T.; TSAI, P.-H., Financial service sector performance measurement model: AHP sensitivity analysis and balanced scorecard approach. *SERVICE INDUSTRIES JOURNAL*. vol. 31, no. 5. pp. 695–711. 2011.

[235] JAKSIC, M.; MOLJEVIC, S.; ALEKSIC, A.; MISITA, M.; ARSOVSKI, S.; TADIC, D.; MIMOVIC, P., Fuzzy Approach in Ranking of Banks according to Financial Performances. *MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING*. 2016.

[236] RIGOPOULOS, G.; ANAGNOSTOPOULOS, K., FUZZY MULTICRITERIA ASSIGNMENT FOR NOMINAL CLASSIFICATION. METHODOLOGY AND APPLICATION IN EVALUATION OF GREEK BANK'S ELECTRONIC PAYMENT RETAILERS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 9, no. 3. pp. 437–454. May 2010.

[237] SECME, N.Y.; BAYRAKDAROGLU, A.; KAHRAMAN, C., Fuzzy performance evaluation in Turkish Banking Sector using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 36, no. 9. pp. 11699–11709. Nov. 2009.

[238] YU, V.F.; TING, H.-I., Identifying key factors affecting consumers' choice of wealth management services: an AHP approach. *SERVICE INDUSTRIES JOURNAL*. vol. 31,

no. 6. pp. 929–939. 2011.

[239] ROHITRATANA, J.; ALTMANN, J., Impact of pricing schemes on a market for Software-as-a-Service and perpetual software. *FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS-THE INTERNATIONAL JOURNAL OF GRID COMPUTING AND ESCIENCE*. vol. 28, no. 8. pp. 1328–1339. Oct. 2012.

[240] LEUNG, L.C.; LAM, K.C.; CAO, D., Implementing the balanced scorecard using the analytic hierarchy process & the analytic network process. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 57, no. 6. pp. 682–691. Jun. 2006.

[241] HU, K.-H.; CHEN, F.-H.; TZENG, G.-H.; LEE, J.-D., Improving Corporate Governance Effects on an Enterprise Crisis Based on a New Hybrid DEMATEL with the MADM Model. *JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION*. vol. 43, no. 6. Nov. 2015.

[242] HSU, M.-F.; PAI, P.-F., Incorporating support vector machines with multiple criteria decision making for financial crisis analysis. *QUALITY & QUANTITY*. vol. 47, no. 6. pp. 3481–3492. Oct. 2013.

[243] YANG, J.B.; WONG, B.Y.H.; XU, D.L.; LIU, X.B.; STEUER, R.E., Integrated bank performance assessment and management planning using hybrid minimax reference point - DEA approach. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 207, no. 3. pp. 1506–1518. Dec. 2010.

[244] YANG, J.-B.; XU, D.-L.; YANG, S., Integrated efficiency and trade-off analyses using a DEA-oriented interactive minimax reference point approach. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*. vol. 39, no. 5. pp. 1062–1073. May 2012.

[245] BAI, C.; DHAVALE, D.; SARKIS, J., Integrating Fuzzy C-Means and TOPSIS for performance evaluation: An application and comparative analysis. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 41, no. 9. pp. 4186–4196. Jul. 2014.

[246] WANG, C.-H.; LU, I.-Y.; CHEN, C.-B., Integrating hierarchical balanced scorecard with non-additive fuzzy integral for evaluating high technology firm performance. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*. vol. 128, no. 1, SI. pp. 413–426. Nov. 2010.

[247] ALVAREZ PEREZ, C.; RODRIGUEZ MONTEQUIN, V.; ORTEGA FERNANDEZ, F.; VILLANUEVA BALSERA, J., Integration of Balanced Scorecard (BSC), Strategy Map, and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) for a Sustainability Business Framework: A Case Study of a Spanish Software Factory in the Financial Sector. *SUSTAINABILITY*. vol. 9, no. 4. Apr. 2017.

[248] MOON, T.H.; SOHN, S.Y., Intelligent approach for effective management of governmental funds for small and medium enterprises. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 29, no. 3. pp. 566–572. Oct. 2005.

[249] DENG, H.; YEH, C.H.; WILLIS, R.J., Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*. vol. 27, no. 10. pp. 963–973. Sep. 2000.

[250] GUNHAN, S.; ARDITI, D., International expansion decision for construction companies. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE*. vol. 131, no. 8. pp. 928–937. Aug. 2005.

[251] HAIDER, H.; SADIQ, R.; TESFAMARIAM, S., Inter-Utility Performance Benchmarking Model for Small-to-Medium-Sized Water Utilities: Aggregated Performance Indices. *JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT*. vol. 142, no. 1. Jan. 2016.

[252] RAMANDEEP; NARWAL, K.P., INVESTIGATING THE IMPACT OF INTELLECTUAL CAPITAL ON FINANCIAL PERFORMANCE IN INDIAN MANUFACTURING SECTOR. *JIMS8M-THE JOURNAL OF INDIAN MANAGEMENT & STRATEGY*. vol. 21, no. 4. pp. 28–32. 2016.

[253] HASHEMKHANI ZOLFANI, S.; BAHRAMI, M., Investment prioritizing in high tech industries based on SWARA-COPRAS approach. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 20, no. 3. pp. 534–553. Jul. 2014.

[254] LONGINIDIS, P.; GEORGIADIS, M.C., Managing the trade-offs between financial performance and credit solvency in the optimal design of supply chain networks under economic uncertainty. *COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING*. vol. 48. pp. 264–279. Jan. 2013.

[255] RASEY, S.M., Managing trade-offs between conflicting goals through a portfolio visualization process. *AAPG BULLETIN*. vol. 92, no. 10, SI. pp. 1337–1357. 2008.

[256] TSENG, F.-M.; CHIU, Y.-J.; CHEN, J.-S., Measuring business performance in the high-tech manufacturing industry: A case study of Taiwan's large-sized TFT-LCD panel companies. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 37, no. 3. pp. 686–697. Jun. 2009.

[257] BILIC, I.; MARASOVIC, B.; TADIC, I., MULTICRITERIA METHODS IN PERFORMING COMPANIES' RESULTS USING ELECTRONIC RECRUITING, CORPORATE COMMUNICATION AND FINANCIAL RATIOS, in *CROATIAN OPERATIONAL*

RESEARCH REVIEW (CRORR), VOL 2, 2011, vol. 2, pp. 208–218.

[258] VOULGARIS, F.; DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., On the evaluation of Greek industrial SME's performance via multicriteria analysis of financial ratios. *SMALL BUSINESS ECONOMICS*. vol. 15, no. 2. pp. 127–136. Sep. 2000.

[259] YAGHOOBI, T.; HADDADI, F., Organizational performance measurement by a framework integrating BSC and AHP. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTIVITY AND PERFORMANCE MANAGEMENT*. vol. 65, no. 7. pp. 959–976. 2016.

[260] GHAZINOORY, S.; KHORASANI, A.; ROSTAMY, A.A.A.; TAHERIATTAR, G.; RASHIDIRAD, M., Performance appraisals of ICT companies in the Tehran stock market: contradiction with the global trend. *ECONOMIC RESEARCH-EKONOMSKA ISTRAZIVANJA*. vol. 29, no. 1. pp. 529–544. 2016.

[261] WU, H.-Y.; LIN, Y.-K.; CHANG, C.-H., Performance evaluation of extension education centers in universities based on the balanced scorecard. *EVALUATION AND PROGRAM PLANNING*. vol. 34, no. 1. pp. 37–50. Feb. 2011.

[262] RANJAN, R.; CHAKRABORTY, S., Performance Evaluation of Indian Technical Institutions Using PROMETHEE-GAIA Approach. *INFORMATICS IN EDUCATION*. vol. 14, no. 1. pp. 103–125. 2015.

[263] MODAK, M.; PATHAK, K.; GHOSH, K.K., Performance evaluation of outsourcing decision using a BSC and Fuzzy AHP approach: A case of the Indian coal mining organization. *RESOURCES POLICY*. vol. 52. pp. 181–191. Jun. 2017.

[264] DINCER, H.; HACIOGLU, U., Performance evaluation with fuzzy VIKOR and AHP method based on customer satisfaction in Turkish banking sector. *KYBERNETES*. vol. 42, no. 7. pp. 1072–1085. 2013.

[265] HEMMATI, Y.; DANAEI, A., PRIORITIZATION OF MELLAT BANK'S BRANCHES IN SEMNAN BY MEANS OF ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) AND WEIGHT CALCULATION TECHNIQUE OF SPECIAL VECTOR. *JOURNAL OF FUNDAMENTAL AND APPLIED SCIENCES*. vol. 8, no. 3, SI. pp. 430–451. 2016.

[266] GARCIA, F.; GUIJARRO, F.; MOYA, I., Ranking Spanish savings banks: A multicriteria approach. *MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING*. vol. 52, no. 7–8. pp. 1058–1065. 2010.

[267] LI, J.; LIU, G.; YAN, C.; JIANG, C., Robust Learning to Rank Based on Portfolio Theory and AMOSA Algorithm. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN CYBERNETICS-SYSTEMS*. vol. 47, no. 6. pp. 1007–1018. Jun. 2017.

[268] GRIGOROUDIS, E.; ORFANOUDAKI, E.; ZOPOUNIDIS, C., Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 40, no. 1. pp. 104–119. Jan. 2012.

[269] RAUT, R.; CHEIKHROUHOU, N.; KHARAT, M., Sustainability in The Banking Industry: A Strategic Multi-Criterion Analysis. *BUSINESS STRATEGY AND THE ENVIRONMENT*. vol. 26, no. 4. pp. 550–568. May 2017.

[270] BHANOT, D.; BAPAT, V., Sustainability index of micro finance institutions (MFIs) and contributory factors. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SOCIAL ECONOMICS*. vol. 42, no. 4. pp. 387–403. 2015.

[271] LEE, P.T.-W.; LIN, C.-W., The cognition map of financial ratios of shipping companies using DEMATEL and MMDE. *MARITIME POLICY & MANAGEMENT*. vol. 40, no. 2, SI. pp. 133–145. Mar. 2013.

[272] WANG, Y.-J., The evaluation of financial performance for Taiwan container shipping companies by fuzzy TOPSIS. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 22. pp. 28–35. Sep. 2014.

[273] TUNG, C.-T.; LEE, Y.-J., The innovative performance evaluation model of grey factor analysis: A case study of listed biotechnology corporations in Taiwan. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 37, no. 12. pp. 7844–7851. Dec. 2010.

[274] FANG, J., The Risk Assessment Method based on Multi-Attribute Fuzzy Decision-Making in the Application of the Internal Control. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SECURITY AND ITS APPLICATIONS*. vol. 10, no. 4. pp. 21–32. Apr. 2016.

[275] FARROKH, M.; HEYDARI, H.; JANANI, H., Two comparative MCDM approaches for evaluating the financial performance of Iranian basic metals companies. *IRANIAN JOURNAL OF MANAGEMENT STUDIES*. vol. 9, no. 2. pp. 359–382. 2016.

[276] HSU, L.-C., Using a decision-making process to evaluate efficiency and operating performance for listed semiconductor companies. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 21, no. 2. pp. 301–331. Mar. 2015.

[277] OU, Y.-C., USING A HYBRID DECISION-MAKING MODEL TO EVALUATE THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT PERFORMANCE OF HIGH-TECH LISTED COMPANIES. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 17, no. 3. pp. 331–346. Jun. 2016.

[278] ESBOUEI, S.K.; GHADIKOLAEI, A.S.; ANTUCHEVICIENE, J., USING FANP AND FUZZY

VIKOR FOR RANKING MANUFACTURING COMPANIES BASED ON THEIR FINANCIAL PERFORMANCE. *ECONOMIC COMPUTATION AND ECONOMIC CYBERNETICS STUDIES AND RESEARCH*. vol. 48, no. 3. pp. 141–162. 2014.

[279] YUKSEL, I.; DAGDEVIREN, M., Using the fuzzy analytic network process (ANP) for Balanced Scorecard (BSC): A case study for a manufacturing firm. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 37, no. 2. pp. 1270–1278. Mar. 2010.

[280] KALOGERAS, N.; PENNINGS, J.M.E.; BENOS, T.; DOUMPOS, M., Which Cooperative Ownership Model Performs Better? A Financial-Decision Aid Approach. *AGRIBUSINESS*. vol. 29, no. 1, SI. pp. 80–95. 2013.

[281] GUTIERREZ-NIETO, B.; SERRANO-CINCA, C.; CAMON-CALA, J., A Credit Score System for Socially Responsible Lending. *JOURNAL OF BUSINESS ETHICS*. vol. 133, no. 4. pp. 691–701. Feb. 2016.

[282] SHEN, K.-Y.; TZENG, G.-H., A decision rule-based soft computing model for supporting financial performance improvement of the banking industry. *SOFT COMPUTING*. vol. 19, no. 4, SI. pp. 859–874. Apr. 2015.

[283] BASAR, A.; KABAK, O.; TOPCU, Y.I., A Decision Support Methodology for Locating Bank Branches: A Case Study in Turkey. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 16, no. 1. pp. 59–86. Jan. 2017.

[284] WU, H.-Y.; TZENG, G.-H.; CHEN, Y.-H., A fuzzy MCDM approach for evaluating banking performance based on Balanced Scorecard. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 36, no. 6. pp. 10135–10147. Aug. 2009.

[285] REBAI, S.; AZAIEZ, M.N.; SAIDANE, D., A multi-attribute utility model for generating a sustainability index in the banking sector. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. vol. 113. pp. 835–849. Feb. 2016.

[286] DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., A multicriteria decision support system for bank rating. *DECISION SUPPORT SYSTEMS*. vol. 50, no. 1. pp. 55–63. Dec. 2010.

[287] FERREIRA, F.A.F.; SPAHR, R.W.; SANTOS, S.P.; RODRIGUES, P.M.M., A MULTIPLE CRITERIA FRAMEWORK TO EVALUATE BANK BRANCH POTENTIAL ATTRACTIVENESS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF STRATEGIC PROPERTY MANAGEMENT*. vol. 16, no. 3. pp. 254–276. Sep. 2012.

[288] ZANDI, F.; TAVANA, M.; O'CONNOR, A., A STRATEGIC COOPERATIVE GAME-THEORETIC MODEL FOR MARKET SEGMENTATION WITH APPLICATION TO

BANKING IN EMERGING ECONOMIES. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 18, no. 3. pp. 389–423. Sep. 2012.

[289] MANDIC, K.; DELIBASIC, B.; KNEZEVIC, S.; BENKOVIC, S., Analysis of the financial parameters of Serbian banks through the application of the fuzzy AHP and TOPSIS methods. *ECONOMIC MODELLING*. vol. 43. pp. 30–37. Dec. 2014.

[290] MOMENI, A.; MOVAHEDI, M.M.; HAFSHEJANI, K.F.; GHARAKHANI, D., Application of Fuzzy MCDM Techniques in evaluation and Ranking of Bank Branches Based on customer satisfaction Case study: Bank Branches of Mellat in Qazvin Province. *LIFE SCIENCE JOURNAL-ACTA ZHENGZHOU UNIVERSITY OVERSEAS EDITION*. vol. 9, no. 4. pp. 3315–3321. 2012.

[291] DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C.; FRAGIADAKIS, P., Assessing the financial performance of European banks under stress testing scenarios: a multicriteria approach. *OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 16, no. 2. pp. 197–209. Jul. 2016.

[292] DOUMPOS, M.; HASAN, I.; PASIOURAS, F., Bank overall financial strength: Islamic versus conventional banks. *ECONOMIC MODELLING*. vol. 64. pp. 513–523. Aug. 2017.

[293] CHEN, X.G.; SKULLY, M.; BROWN, K., Banking efficiency in China: Application of DEA to pre- and post-deregulation eras: 1993-2000. *CHINA ECONOMIC REVIEW*. vol. 16, no. 3. pp. 229–245. 2005.

[294] AVKIRAN, N.K.; MORITA, H., Benchmarking firm performance from a multiple-stakeholder perspective with an application to Chinese banking. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 38, no. 6. pp. 501–508. Dec. 2010.

[295] ISHIZAKA, A.; NGUYEN, N.H., Calibrated fuzzy AHP for current bank account selection. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 40, no. 9. pp. 3775–3783. Jul. 2013.

[296] JUREVICIENE, D.; SKVARCIANY, V., CAMELS+ T APPROACH FOR BANKS' SOUNDNESS ASSESSMENT: EVIDENCE FROM THE BALTICS. *ENTREPRENEURSHIP AND SUSTAINABILITY ISSUES*. vol. 4, no. 2. pp. 159–173. Dec. 2016.

[297] KOSMIDOU, K.; ZOPOUNIDIS, C., Combining goal programming model with simulation analysis for bank Asset Liability Management. *INFOR*. vol. 42, no. 3. pp. 175–187. Aug. 2004.

[298] YAZDI, A.K.; ABDI, F., Designing robust model for banks benchmarking based on Rembrandt method and DEA. *BENCHMARKING-AN INTERNATIONAL JOURNAL*.

vol. 24, no. 2. pp. 431–444. 2017.

[299] WANKE, P.; AZAD, M.A.K.; BARROS, C.P., Efficiency factors in OECD banks: A ten-year analysis. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 64. pp. 208–227. Dec. 2016.

[300] CVETKOSKA, V.; SAVIC, G., Efficiency of bank branches: empirical evidence from a two-phase research approach. *ECONOMIC RESEARCH-EKONOMSKA ISTRAZIVANJA*. vol. 30, no. 1. pp. 318–333. 2017.

[301] CHITNIS, A.; VAIDYA, O.S., Efficiency ranking method using DEA and TOPSIS (ERM-DT): case of an Indian bank. *BENCHMARKING-AN INTERNATIONAL JOURNAL*. vol. 23, no. 1. pp. 165–182. 2016.

[302] LIN, C.-T.; CHEN, Y.-S., Establishing an Evaluation Model for Emerging Industry Credit Ability for the Banking Sector. *JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION*. vol. 38, no. 3. pp. 271–276. May 2010.

[303] WU, C.-R.; LIN, C.-T.; TSAI, P.-H., Evaluating business performance of wealth management banks. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 207, no. 2. pp. 971–979. Dec. 2010.

[304] BRAVO, M.; PLA-SANTAMARIA, D., Evaluating Loan Performance for Bank Offices: A Multicriteria Decision-Making Approach. *Infor*. vol. 50, no. 3. pp. 127–133. Aug. 2012.

[305] FERREIRA, F.A.F.; SANTOS, S.P.; RODRIGUES, P.M.M.; SPAHR, R.W., Evaluating retail banking service quality and convenience with MCDA techniques: a case study at the bank branch level. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 15, no. 1. pp. 1–21. Jan. 2014.

[306] LU, M.-T.; TZENG, G.-H.; CHENG, H.; HSU, C.-C., Exploring mobile banking services for user behavior in intention adoption: using new hybrid MADM model. *SERVICE BUSINESS*. vol. 9, no. 3. pp. 541–565. Sep. 2015.

[307] PIOT-LEPETIT, I.; NZONGANG, J., Financial sustainability and poverty outreach within a network of village banks in Cameroon: A multi-DEA approach. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 234, no. 1. pp. 319–330. Apr. 2014.

[308] HU, Y.-C.; LIAO, P.-C., Finding critical criteria of evaluating electronic service quality of Internet banking using fuzzy multiple-criteria decision making. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 11, no. 4. pp. 3764–3770. Jun. 2011.

[309] KORHONEN, P.; VOUTILAINEN, R., Finding the most preferred alliance structure between banks and insurance companies. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL*

RESEARCH. vol. 175, no. 2. pp. 1285–1299. Dec. 2006.

[310] KOSMIDOU, K.; ZOPOUNIDIS, C., Generating interest rate scenarios for bank asset liability management. *OPTIMIZATION LETTERS*. vol. 2, no. 2. pp. 157–169. Mar. 2008.

[311] FERREIRA, F.A.F.; SANTOS, S.P.; RODRIGUES, P.M.M.; SPAHR, R.W., How to create indices for bank branch financial performance measurement using MCDA techniques: an illustrative example. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 15, no. 4. pp. 708–728. Aug. 2014.

[312] WU, C.-R.; LIN, C.-T.; LIN, Y.-F., Identifying the Preferable Bancassurance Alliance Structure from the Bank's Executive Management Perspective: Analytic Network Process Application. *CANADIAN JOURNAL OF ADMINISTRATIVE SCIENCES-REVUE CANADIENNE DES SCIENCES DE L ADMINISTRATION*. vol. 27, no. 2. pp. 188–198. Jun. 2010.

[313] YANG, C.; LIU, H.-M., Managerial efficiency in Taiwan bank branches: A network DEA. *ECONOMIC MODELLING*. vol. 29, no. 2. pp. 450–461. Mar. 2012.

[314] KOU, G.; PENG, Y.; LU, C., MCDM APPROACH TO EVALUATING BANK LOAN DEFAULT MODELS. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 20, no. 2. pp. 292–311. Jun. 2014.

[315] GAGANIS, C.; PASIOURAS, F.; DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., Modelling banking sector stability with multicriteria approaches. *OPTIMIZATION LETTERS*. vol. 4, no. 4. pp. 543–558. Nov. 2010.

[316] BALLA, V.; GAGANIS, C.; PASIOURAS, F.; ZOPOUNIDIS, C., Multicriteria decision aid models for the prediction of securities class actions: evidence from the banking sector. *OR SPECTRUM*. vol. 36, no. 1. pp. 57–72. Jan. 2014.

[317] GINEVICIUS, R.; PODVEZKO, V., MULTICRITERIA EVALUATION OF LITHUANIAN BANKS FROM THE PERSPECTIVE OF THEIR RELIABILITY FOR CLIENTS. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 9, no. 4. pp. 257–267. 2008.

[318] DE ALMEIDA, C.L.; PERES, M.A.; SOUZA, G.D.E.; TABAK, B.M., Optimal monetary rules: the case of Brazil. *APPLIED ECONOMICS LETTERS*. vol. 10, no. 5. pp. 299–302. Apr. 2003.

[319] MOSER, S., Orderings Based on the Banks Set: Some New Scoring Methods for Multicriteria Decision Making. *COMPLEXITY*. vol. 20, no. 5. pp. 63–76. 2015.

[320] ECER, F., PERFORMANCE EVALUATION OF INTERNET BANKING BRANCHES

VIA A HYBRID MCDM MODEL UNDER FUZZY ENVIRONMENT. *ECONOMIC COMPUTATION AND ECONOMIC CYBERNETICS STUDIES AND RESEARCH*. vol. 49, no. 2. pp. 211–229. 2015.

[321] HAHN, T.; DIAMOND, J.; DOBSON, S.; HOWE, P.; KIELHORN, J.; KOENNECKER, G.; LEE-STEERE, C.; MANGELSDORF, I.; SCHNEIDER, U.; SUGAYA, Y.; TAYLOR, K.; VAN DAM, R.; STAUBER, J.L., Predicted No Effect Concentration Derivation as a Significant Source of Variability in Environmental Hazard Assessments of Chemicals in Aquatic Systems: An International Analysis. *INTEGRATED ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND MANAGEMENT*. vol. 10, no. 1. pp. 30–36. Jan. 2014.

[322] WANKE, P.; BARROS, C.; JOAO MACANDA, N.P., Predicting Efficiency in Angolan Banks: A Two-Stage TOPSIS and Neural Networks Approach. *SOUTH AFRICAN JOURNAL OF ECONOMICS*. vol. 84, no. 3. pp. 461–483. Sep. 2016.

[323] WANKE, P.; AZAD, A.K.; BARROS, C.P., Predicting efficiency in Malaysian Islamic banks: A two-stage TOPSIS and neural networks approach. *RESEARCH IN INTERNATIONAL BUSINESS AND FINANCE*. vol. 36. pp. 485–498. Jan. 2016.

[324] WANKE, P.; AZAD, M.A.K.; BARROS, C.P.; HADI-VENCHEH, A., Predicting performance in ASEAN banks: an integrated fuzzy MCDM-neural network approach. *EXPERT SYSTEMS*. vol. 33, no. 3. pp. 213–229. Jun. 2016.

[325] STANKEVICIENE, J.; MENCAITE, E., THE EVALUATION OF BANK PERFORMANCE USING A MULTICRITERIA DECISION MAKING MODEL: A CASE STUDY ON LITHUANIAN COMMERCIAL BANKS. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 18, no. 1. pp. 189–205. Mar. 2012.

[326] GINEVICIUS, R.; PODVIEZKO, A., THE EVALUATION OF FINANCIAL STABILITY AND SOUNDNESS OF LITHUANIAN BANKS. *EKONOMSKA ISTRAZIVANJA-ECONOMIC RESEARCH*. vol. 26, no. 2. pp. 191–207. Jun. 2013.

[327] RAVEH, A., The Greek banking system: Reanalysis of performance. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 120, no. 3. pp. 525–534. Feb. 2000.

[328] HAGHIGHI, M.; DIVANDARI, A.; KEIMASI, M., The impact of 3D e-readiness on e-banking development in Iran: A fuzzy AHP analysis. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 37, no. 6. pp. 4084–4093. Jun. 2010.

[329] LIN, C.-W., User Purpose Analysis for Mobile Banking Service. *JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION*. vol. 43, no. 3. May 2015.

[330] VUKOVIC, S.; DELIBASIC, B.; UZELAC, A.; SUKNOVIC, M., A case-based reasoning model

that uses preference theory functions for credit scoring. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 39, no. 9. pp. 8389–8395. Jul. 2012.

[331] PARK, C.S.; HAN, I., A case-based reasoning with the feature weights derived by analytic hierarchy process for bankruptcy prediction. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 23, no. 3. pp. 255–264. Oct. 2002.

[332] LI, J.; ZHANG, Q.; YAN, F.; ZHONG, M., A cloud model-based multi-level fuzzy comprehensive evaluation approach for financing credit of scientific & technological small-medium enterprises. *JOURNAL OF DIFFERENCE EQUATIONS AND APPLICATIONS*. vol. 23, no. 1–2, SI. pp. 443–456. 2017.

[333] HSU, L.-C.; OU, S.-L.; OU, Y.-C., A Comprehensive performance evaluation and ranking methodology under a sustainable development perspective. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 16, no. 1. pp. 74–92. Jan. 2015.

[334] CHE, Z.H.; WANG, H.S.; CHUANG, C.-L., A fuzzy AHP and DEA approach for making bank loan decisions for small and medium enterprises in Taiwan. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 37, no. 10. pp. 7189–7199. Oct. 2010.

[335] DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., A Multicriteria Outranking Modeling Approach for Credit Rating. *DECISION SCIENCES*. vol. 42, no. 3. pp. 721–742. 2011.

[336] ARAZ, C.; OZKARAHAN, I., A multicriteria sorting procedure for financial classification problems: The case of business failure risk assessment, in *INTELLIGENT DATA ENGINEERING AND AUTOMATED LEARNING IDEAL 2005, PROCEEDINGS*, 2005, vol. 3578, pp. 563–570.

[337] KOU, G.; PENG, Y.; SHI, Y.; CHEN, Z., A new multi-criteria Convex Quadratic Programming model for credit analysis, in *COMPUTATIONAL SCIENCE - ICCS 2006, PT 4, PROCEEDINGS*, 2006, vol. 3994, pp. 476–484.

[338] XU, Y.; ZHANG, Y., A online credit evaluation method based on AHP and SPA. *COMMUNICATIONS IN NONLINEAR SCIENCE AND NUMERICAL SIMULATION*. vol. 14, no. 7. pp. 3031–3036. Jul. 2009.

[339] ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M., A preference disaggregation decision support system for financial classification problems. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 130, no. 2. pp. 402–413. Apr. 2001.

[340] ARULDOSS, M.; TRAVIS, M.L.; VENKATESAN, V.P., A reference model for business intelligence to predict bankruptcy. *JOURNAL OF ENTERPRISE INFORMATION MANAGEMENT*. vol. 28, no. 2. pp. 186–217. 2015.

[341] GU, W.; BASU, M.; CHAO, Z.; WEI, L., A Unified Framework for Credit Evaluation for Internet Finance Companies: Multi-Criteria Analysis Through AHP and DEA. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 16, no. 3. pp. 597–624. May 2017.

[342] YURDAKUL, M.; IC, Y.T., AHP approach in the credit evaluation of the manufacturing firms in Turkey. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*. vol. 88, no. 3. pp. 269–289. Apr. 2004.

[343] KAO, L.-J.; LEE, C.-F., ALTERNATIVE METHOD FOR DETERMINING INDUSTRIAL BOND RATINGS: THEORY AND EMPIRICAL EVIDENCE. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 11, no. 6. pp. 1215–1235. Nov. 2012.

[344] HUNG, M.-L.; CHIN, P.-L., An AHP study of survival factors for small-medium sized multinational firms in Taiwan. *AFRICAN JOURNAL OF BUSINESS MANAGEMENT*. vol. 5, no. 6. pp. 2093–2104. Mar. 2011.

[345] FERREIRA, F.A.F.; SANTOS, S.P.; DIAS, V.M.C., AN AHP-BASED APPROACH TO CREDIT RISK EVALUATION OF MORTGAGE LOANS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF STRATEGIC PROPERTY MANAGEMENT*. vol. 18, no. 1. pp. 38–55. 2014.

[346] CORAZZA, M.; FUNARI, S.; GUSSO, R., An evolutionary approach to preference disaggregation in a MURAME-based creditworthiness problem. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 29. pp. 110–121. Apr. 2015.

[347] GONCALVES, T.S.H.; FERREIRA, F.A.F.; JALALI, M.S.; MEIDUTE-KAVALIAUSKIENE, I., AN IDIOSYNCRATIC DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CREDIT RISK ANALYSIS OF SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 22, no. 4. pp. 598–616. 2016.

[348] GAVALAS, D.; SYRIOPOULOS, T., An integrated credit rating and loan quality model: application to bank shipping finance. *MARITIME POLICY & MANAGEMENT*. vol. 42, no. 6. pp. 533–554. 2015.

[349] 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*. vol. 195, no. 3. pp. 942–959. Jun. 2009.

[350] FERREIRA, F.A.F.; SANTOS, S.P.; MARQUES, C.S.E.; FERREIRA, J., Assessing credit risk

of mortgage lending using MACBETH: a methodological framework. *MANAGEMENT DECISION*. vol. 52, no. 2. pp. 182–206. 2014.

[351] ZHU, X.; LI, J.; WU, D.; WANG, H.; LIANG, C., Balancing accuracy, complexity and interpretability in consumer credit decision making: A C-TOPSIS classification approach. *KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS*. vol. 52. pp. 258–267. Nov. 2013.

[352] LI, H.; SUN, J., Business failure prediction using hybrid(2) case-based reasoning ((HCBR)-C-2). *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*. vol. 37, no. 1. pp. 137–151. Jan. 2010.

[353] HE, J.; LIU, X.T.; SHI, Y.; XU, W.X.; YAN, N., Classifications of credit cardholder behavior by using fuzzy linear programming. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*. vol. 3, no. 4. pp. 633–650. Dec. 2004.

[354] TSAI, H.-Y.; HUANG, B.-H.; WANG, A.-S., Combining AHP and GRA model for evaluation property-liability insurance companies to rank. *JOURNAL OF GREY SYSTEM*. vol. 20, no. 1. pp. 65–78. 2008.

[355] FERREIRA, F.A.F.; SANTOS, S.P., COMPARING TRADE-OFF ADJUSTMENTS IN CREDIT RISK ANALYSIS OF MORTGAGE LOANS USING AHP, DELPHI AND MACBETH. *INTERNATIONAL JOURNAL OF STRATEGIC PROPERTY MANAGEMENT*. vol. 20, no. 1. pp. 44–63. 2016.

[356] LI, J.; YAO, Y.; ZHENG, L., COMPREHENSIVE EVALUATION OF OPERATIONAL RISKS OF CHINESE PUBLIC PENSION FUND. *ADVANCES AND APPLICATIONS IN STATISTICS*. vol. 44, no. 2. pp. 117–132. Feb. 2015.

[357] DOUMPOS, M.; ANDRIOSOPOULOS, K.; GALARIOTIS, E.; MAKRIDOU, G.; ZOPOUNIDIS, C., Corporate failure prediction in the European energy sector: A multicriteria approach and the effect of country characteristics. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 262, no. 1. pp. 347–360. Oct. 2017.

[358] LIU, Y.-J.; ZHANG, W.-G.; ZHANG, Q., Credibilistic multi-period portfolio optimization model with bankruptcy control and affine recourse. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 38. pp. 890–906. Jan. 2016.

[359] DOUMPOS, M.; KOSMIDOU, K.; BAOURAKIS, G.; ZOPOUNIDIS, C., Credit risk assessment using a multicriteria hierarchical discrimination approach: A comparative analysis. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 138, no. 2. pp. 392–412. 2002.

[360] GARCIA, F.; GIMENEZ, V.; GUIJARRO, F., Credit risk management: A multicriteria approach to assess creditworthiness. *MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING*. vol. 57, no. 7–8. pp. 2009–2015. 2013.

[361] CAPOTORTI, A.; BARBANERA, E., Credit scoring analysis using a fuzzy probabilistic rough set model. *COMPUTATIONAL STATISTICS & DATA ANALYSIS*. vol. 56, no. 4, SI. pp. 981–994. 2012.

[362] CORAZZA, M.; FUNARI, S.; GUSSO, R., Creditworthiness evaluation of Italian SMEs at the beginning of the 2007-2008 crisis: An MCDA approach. *NORTH AMERICAN JOURNAL OF ECONOMICS AND FINANCE*. vol. 38. pp. 1–26. Nov. 2016.

[363] IC, Y.T., Development of a credit limit allocation model for banks using an integrated Fuzzy TOPSIS and linear programming. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 39, no. 5. pp. 5309–5316. Apr. 2012.

[364] IC, Y.T.; YURDAKUL, M., Development of a quick credibility scoring decision support system using fuzzy TOPSIS. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 37, no. 1. pp. 567–574. Jan. 2010.

[365] CHIN-TSAI, L.; YI-SHAN, C., Evaluating the Emerging Industry Credit Ability for Banking Sector Using AHP and GRA: A Case Study in Taiwanese Solar Energy Industry. *Journal Of Grey System*. vol. 20, no. 4. pp. 359–374. 2008.

[366] ERTUG, Z.K.; GIRGINER, N., EVALUATION OF BANKS' COMMERCIAL CREDIT APPLICATIONS USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AND GREY RELATIONAL ANALYSIS: A COMPARISON BETWEEN PUBLIC AND PRIVATE BANKS. *SOUTH AFRICAN JOURNAL OF ECONOMIC AND MANAGEMENT SCIENCES*. vol. 18, no. 3. pp. 308–324. 2015.

[367] KOU, G.; PENG, Y.; WANG, G., Evaluation of clustering algorithms for financial risk analysis using MCDM methods. *INFORMATION SCIENCES*. vol. 275. pp. 1–12. Aug. 2014.

[368] WU, W.; KOU, G.; PENG, Y., Group Decision-Making Using Improved Multi-Criteria Decision Making Methods for Credit Risk Analysis. *FILOMAT*. vol. 30, no. 15. pp. 4135–4150. 2016.

[369] LI, H.; ADELI, H.; SUN, J.; HAN, J.-G., Hybridizing principles of TOPSIS with case-based reasoning for business failure prediction. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*. vol. 38, no. 2. pp. 409–419. Feb. 2011.

[370] GARCIA, F.; GUIJARRO, F.; MOYA, I., Monitoring credit risk in the social economy sector

by means of a binary goal programming model. *SERVICE BUSINESS*. vol. 7, no. 3. pp. 483–495. Sep. 2013.

[371] TAS, O.; EKMEKCIOGLU, M., Mortgage Demanders Evaluation by Fuzzy AHP. *JOURNAL OF MULTIPLE-VALUED LOGIC AND SOFT COMPUTING*. vol. 21, no. 5–6. pp. 511–524. 2013.

[372] LIN, S.-J.; WANG, C.-S.; HSU, M.-F., SELECTION OF MULTIPLE COMBINATION STRATEGIES FOR RISK ASSESSMENT. *CYBERNETICS AND SYSTEMS*. vol. 45, no. 8. pp. 622–634. Nov. 2014.

[373] GASPAR-CUNHA, A.; RECIO, G.; COSTA, L.; ESTEBANEZ, C., Self-Adaptive MOEA Feature Selection for Classification of Bankruptcy Prediction Data. *SCIENTIFIC WORLD JOURNAL*. 2014.

[374] CHEN, Y.-S.; LIN, C.-T.; LU, J.-H., The analytic network process for the banking sector: An approach to evaluate the creditability of emerging industries. *AFRICAN JOURNAL OF BUSINESS MANAGEMENT*. vol. 5, no. 4. pp. 1343–1352. Feb. 2011.

[375] ANGILELLA, S.; MAZZU, S., The financing of innovative SMEs: A multicriteria credit rating model. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 244, no. 2. pp. 540–554. Jul. 2015.

[376] DIVSALAR, M.; FIROUZABADI, A.K.; SADEGHI, M.; BEHROOZ, A.H.; ALAVI, A.H., Towards the prediction of business failure via computational intelligence techniques. *EXPERT SYSTEMS*. vol. 28, no. 3, SI. pp. 209–226. Jul. 2011.

[377] XIE, G.; ZHANG, J.; LAI, K.K.; YU, L., Variable precision rough set for group decision-making: An application. *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPROXIMATE REASONING*. vol. 49, no. 2. pp. 331–343. Oct. 2008.

[378] LEE, A.H.I., A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 36, no. 2. pp. 2879–2893. Mar. 2009.

[379] LIN, W.-R.; WANG, Y.-H.; SHIH, K.-H., A Multi-Criteria Decision Making for Innovation Services Attributes: An Empirical Study of Mobile Banking System. *JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION*. vol. 43, no. 4. pp. 938–947. Jul. 2015.

[380] DE SOUZA, J.S.; KLIEMANN NETO, F.J.; ANZANELLO, M.J.; FILOMENA, T.P., A NON-TRADITIONAL CAPITAL INVESTMENT CRITERIA-BASED METHOD TO OPTIMIZE A PORTFOLIO OF INVESTMENTS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING-THEORY APPLICATIONS AND PRACTICE*. vol. 19,

no. 4. pp. 193–203. 2012.

[381] SEDAGHAT, M., A PRODUCTIVITY IMPROVEMENT EVALUATION MODEL BY INTEGRATING AHP, TOPSIS AND VIKOR METHODS UNDER FUZZY ENVIRONMENT (CASE STUDY: STATE-OWNED, PARTIALLY PRIVATE AND PRIVATE BANKS IN IRAN). *ECONOMIC COMPUTATION AND ECONOMIC CYBERNETICS STUDIES AND RESEARCH*. vol. 47, no. 1. pp. 235–258. 2013.

[382] KHADGI, P.; BAI, L.; EVANS, G.; ZHENG, Q.P., A simulation model with multi-attribute utility functions for energy consumption scheduling in a smart grid. *ENERGY SYSTEMS-OPTIMIZATION MODELING SIMULATION AND ECONOMIC ASPECTS*. vol. 6, no. 4. pp. 533–550. Nov. 2015.

[383] HENN, L.; SLOAN, K.; CHARLES, M.B.; DOUGLAS, N., An appraisal framework for evaluating financing approaches for public infrastructure. *PUBLIC MONEY & MANAGEMENT*. vol. 36, no. 4. pp. 273–280. Jun. 2016.

[384] COHEN, S.; DOUMPOS, M.; NEOFYTOU, E.; ZOPOUNIDIS, C., Assessing financial distress where bankruptcy is not an option: An alternative approach for local municipalities. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 218, no. 1. pp. 270–279. Apr. 2012.

[385] SMITH, P.; FERRINGER, M.; KELLY, R.; MIN, I., Budget-constrained portfolio trades using multiobjective optimization. *SYSTEMS ENGINEERING*. vol. 15, no. 4. pp. 461–470. 2012.

[386] PASCUAL, R.; DEL CASTILLO, G.; LOUIT, D.; KNIGHTS, P., Business-oriented prioritization: A novel graphical technique. *RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY*. vol. 94, no. 8. pp. 1308–1313. Aug. 2009.

[387] SHEN, K.-Y.; TZENG, G.-H., Contextual Improvement Planning by Fuzzy-Rough Machine Learning: A Novel Bipolar Approach for Business Analytics. *INTERNATIONAL JOURNAL OF FUZZY SYSTEMS*. vol. 18, no. 6, SI. pp. 940–955. Dec. 2016.

[388] GABRIEL, S.A.; ORDONEZ, J.F.; FARIA, J.A., Contingency Planning in Project Selection Using Multiobjective Optimization and Chance Constraints. *JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS*. vol. 12, no. 2. pp. 112–120. Jun. 2006.

[389] DUTTA, G.; BASU, S.; JOHN, J., Development of utility function for life insurance buyers in the Indian market. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 61, no. 4. pp. 585–593. Apr. 2010.

[390] FREZATTI, F.; AGUIAR, A.B.; GUERREIRO, R.; GOUVEA, M.A., Does management accounting play role in planning process? *JOURNAL OF BUSINESS RESEARCH*. vol. 64, no. 3, SI. pp. 242–249. Mar. 2011.

[391] ELAZOUNI, A.; ABIDO, M.A., Enhanced Trade-Off of Construction Projects: Finance-Resource-Profit. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*. vol. 140, no. 9. Sep. 2014.

[392] RUTKAUSKAS, A.V.; STASYTYTE, V.; MAKNICKIENE, N., Government debt as the integral portfolio of assets and liabilities generated by debt. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 15, no. 1. pp. 22–40. Jan. 2014.

[393] CHEN, J.-H.; HSU, S.-C.; LUO, Y.-H.; SKIBNIEWSKI, M.J., Knowledge Management for Risk Hedging by Construction Material Suppliers. *JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING*. vol. 28, no. 3. pp. 273–280. Jul. 2012.

[394] FERNANDO, C.K.; HOSSEINI, M.R.; ZAVADSKAS, E.K.; PERERA, B.A.K.S.; RAMEEZDEEN, R., MANAGING THE FINANCIAL RISKS AFFECTING CONSTRUCTION CONTRACTORS: IMPLEMENTING HEDGING IN SRI LANKA. *INTERNATIONAL JOURNAL OF STRATEGIC PROPERTY MANAGEMENT*. vol. 21, no. 2. pp. 212–224. 2017.

[395] KASPRZYK, J.R.; REED, P.M.; CHARACKLIS, G.W.; KIRSCH, B.R., Many-objective de Novo water supply portfolio planning under deep uncertainty. *ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE*. vol. 34, no. SI. pp. 87–104. Jun. 2012.

[396] HUANG, X., Mean-variance model for fuzzy capital budgeting. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*. vol. 55, no. 1. pp. 34–47. 2008.

[397] ABIDO, M.A.; ELAZOUNI, A.M., Multiobjective Evolutionary Finance-Based Scheduling: Entire Projects' Portfolio. *JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING*. vol. 25, no. 1. pp. 85–97. 2011.

[398] ELAZOUNI, A.; ABIDO, M., Multiobjective evolutionary finance-based scheduling: Individual projects within a portfolio. *AUTOMATION IN CONSTRUCTION*. vol. 20, no. 7. pp. 755–766. Nov. 2011.

[399] STUMMER, C.; SUN, M.H., New multiobjective metaheuristic solution procedures for capital investment planning. *JOURNAL OF HEURISTICS*. vol. 11, no. 3. pp. 183–199. 2005.

[400] WOODRUFF, J.; HASKELL, W.B.; TORIELLO, A., Optimized Financial Systems Helps Customers Meet Their Personal Finance Goals with Optimization. *INTERFACES*. vol.

46, no. 4. pp. 345–359. 2016.

[401] ALGHAZI, A.; SELIM, S.Z.; ELAZOUNI, A., Performance of Shuffled Frog-Leaping Algorithm in Finance-Based Scheduling. *JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING*. vol. 26, no. 3. pp. 396–408. 2012.

[402] SZCZYPINSKA, A.; PIOTROWSKI, E.W., Projective market model approach to AHP decision making. *PHYSICA A-STATISTICAL MECHANICS AND ITS APPLICATIONS*. vol. 387, no. 15. pp. 3982–3986. Jun. 2008.

[403] ALIREZAEE, A.; GHASEMI, B.; MIRHABIBI, S.D.; SADEGHI, A., Recognizing and Ranking of Effective Factors of Financing Strategies of Contracting Companies in the Area of Traffic of Municipal of Tehran. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED BIOTECHNOLOGY AND RESEARCH*. vol. 7, no. 4. pp. 622–638. 2016.

[404] RUPARATHNA, R.; HEWAGE, K.; SADIQ, R., Rethinking investment planning and optimizing net zero emission buildings. *CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY*. vol. 19, no. 6. pp. 1711–1724. Aug. 2017.

[405] WIBOWO, A.; KOCHENDOERFER, B., Selecting BOT/PPP Infrastructure Projects for Government Guarantee Portfolio under Conditions of Budget and Risk in the Indonesian Context. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE*. vol. 137, no. 7. pp. 512–522. Jul. 2011.

[406] YANG, F.; SONG, S.; HUANG, W.; XIA, Q., SMAA-PO: project portfolio optimization problems based on stochastic multicriteria acceptability analysis. *ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 233, no. 1. pp. 535–547. 2015.

[407] GUO, L.; ARNOULD, E.J.; GRUEN, T.W.; TANG, C., Socializing to Co-Produce: Pathways to Consumers' Financial Well-Being. *JOURNAL OF SERVICE RESEARCH*. vol. 16, no. 4. pp. 549–563. Nov. 2013.

[408] STARKL, M.; BRUNNER, N.; AMERASINGHE, P.; MAHESH, J.; KUMAR, D.; ASOLEKAR, S.R.; SONKAMBLE, S.; AHMED, S.; WAJIHUDDIN, M.; PRATYUSHA, A.; SARAH, S., Stakeholder Views, Financing and Policy Implications for Reuse of Wastewater for Irrigation: A Case from Hyderabad, India. *WATER*. vol. 7, no. 1. pp. 300–328. Jan. 2015.

[409] MALEKDAR, M., Strategic Analysis of the Presence of Corporate Venture Capital in Iranian Science and Technology Parks and incubators. *LIFE SCIENCE JOURNAL-ACTA ZHENGZHOU UNIVERSITY OVERSEAS EDITION*. vol. 9, no. 3. pp. 1854–1859. 2012.

[410] KORHONEN, A., Strategic financial management in a multinational financial

conglomerate: A multiple goal stochastic programming approach. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 128, no. 2. pp. 418–434. Jan. 2001.

[411] BEHESHTI, M.; MANDIRAJI, H.A.; ZAVADSKAS, E.K., STRATEGY PORTFOLIO OPTIMISATION: A COPRAS G-MODM HYBRID APPROACH. *TRANSFORMATIONS IN BUSINESS & ECONOMICS*. vol. 15, no. 3C. pp. 500–519. 2016.

[412] GINEVICIUS, R.; KRIVKA, A.; SIMKUNAITE, J., THE MODEL OF FORMING COMPETITIVE STRATEGY OF AN ENTERPRISE UNDER THE CONDITIONS OF OLIGOPOLIC MARKET. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 11, no. 3. pp. 367–395. 2010.

[413] CHANG, C.-T.; CHUNG, C.-K.; SHEU, J.-B.; ZHUANG, Z.-Y.; CHEN, H.-M., The optimal dual-pricing policy of mall parking service. *TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE*. vol. 70. pp. 223–243. 2014.

[414] HUANG, J.-D.; HU, M.H., Two-stage solution approach for supplier selection: A case study in a Taiwan automotive industry. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING*. vol. 26, no. 3. pp. 237–251. Mar. 2013.

[415] NAFI, A.; WEREY, C.; LLERENA, P., Water pipe renewal using a multiobjective optimization approach. *CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*. vol. 35, no. 1. pp. 87–94. Jan. 2008.

[416] CARNEIRO, R.N.; DAMIAO, S.; BENOLIEL, M.J., Water safety plans at EPAL's water supply system-tool to prioritize investments and mitigation actions. *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY-WATER SUPPLY*. vol. 15, no. 5. pp. 1106–1114. 2015.

[417] FERREIRA, D.; SUSLICK, S.; FARLEY, J.; COSTANZA, R.; KRIVOV, S., A decision model for financial assurance instruments in the upstream petroleum sector. *ENERGY POLICY*. vol. 32, no. 10. pp. 1173–1184. Jul. 2004.

[418] SERRANO-CINCA, C.; GUTIERREZ-NIETO, B., A decision support system for financial and social investment. *APPLIED ECONOMICS*. vol. 45, no. 28. pp. 4060–4070. Oct. 2013.

[419] VALIPOUR, A.; YAHAYA, N.; MD NOOR, N.; KILDIENE, S.; SARVARI, H.; MARDANI, A., A fuzzy analytic network process method for risk prioritization in freeway PPP projects: an Iranian case study. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*. vol. 21, no. 7. pp. 933–947. Oct. 2015.

[420] AOUNI, B.; COLAPINTO, C.; LA TORRE, D., A Fuzzy Goal Programming Model for Venture Capital Investment Decision Making. *INFOR*. vol. 52, no. 3. pp. 138–146. 2014.

[421] TSAO, C.-T., A fuzzy MCDM approach for stock selection. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 57, no. 11. pp. 1341–1352. Nov. 2006.

[422] DINCER, H.; HACIOGLU, U.; TATOGLU, E.; DELEN, D., A fuzzy-hybrid analytic model to assess investors' perceptions for industry selection. *DECISION SUPPORT SYSTEMS*. vol. 86. pp. 24–34. Jun. 2016.

[423] CHANG, S.-C.; TSAI, P.-H.; CHANG, S.-C., A hybrid fuzzy model for selecting and evaluating the e-book business model: A case study on Taiwan e-book firms. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 34. pp. 194–204. Sep. 2015.

[424] KHALILI-DAMGHANI, K.; SADI-NEZHAD, S., A hybrid fuzzy multiple criteria group decision making approach for sustainable project selection. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 13, no. 1. pp. 339–352. Jan. 2013.

[425] ALIAKBARI NOURI, F.; KHALILI ESBOUEI, S.; ANTUCHEVICIENE, J., A Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS for Technology Selection. *INFORMATICA*. vol. 26, no. 3. pp. 369–388. 2015.

[426] HSU, L.-C., A HYBRID MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING MODEL FOR INVESTMENT DECISION MAKING. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 15, no. 3. pp. 509–529. Jun. 2014.

[427] DOLORES GUERRERO-BAENA, M.; GOMEZ-LIMON, J.A.; VICENTE FRUET, J., A multicriteria method for environmental management system selection: an intellectual capital approach. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. vol. 105. pp. 428–437. Oct. 2015.

[428] MERIGO, J.M.; PERIS-ORTIZ, M.; NAVARRO-GARCIA, A.; RUEDA-ARMENGOT, C., Aggregation operators in economic growth analysis and entrepreneurial group decision-making. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 47. pp. 141–150. Oct. 2016.

[429] CHEN, S.-Y., An improved fuzzy decision analysis framework with fuzzy Mahalanobis distances for individual investment effect appraisal. *MANAGEMENT DECISION*. vol. 55, no. 5. pp. 935–956. 2017.

[430] SIMELYTE, A.; PELECKIS, K.; KORSAKIENE, R., ANALYTICAL NETWORK PROCESS BASED ON BOCR ANALYSIS AS AN APPROACH FOR DESIGNING A FOREIGN DIRECT INVESTMENT POLICY. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 15, no. 5. pp. 833–852. 2014.

[431] ARIF, F.; BAYRAKTAR, M.E.; CHOWDHURY, A.G., Decision Support Framework for Infrastructure Maintenance Investment Decision Making. *JOURNAL OF*

MANAGEMENT IN ENGINEERING. vol. 32, no. 1. Jan. 2016.

[432] RUDZIANSKAITE-KVARACIEJIENE, R.; APANAVICIENE, R.; BUTAUSKAS, A., Evaluation of Road Investment Project Effectiveness. *INZINERINE EKONOMIKA-ENGINEERING ECONOMICS*. vol. 21, no. 4. pp. 368–376. 2010.

[433] TAJANI, F.; MORANO, P., Evaluation of vacant and redundant public properties and risk control A model for the definition of the optimal mix of eligible functions. *JOURNAL OF PROPERTY INVESTMENT & FINANCE*. vol. 35, no. 1. pp. 75–100. 2017.

[434] DHOCHAK, M.; SHARMA, A.K., Identification and prioritization of factors affecting venture capitalists' investment decision-making process An analytical hierarchal process (AHP) approach. *JOURNAL OF SMALL BUSINESS AND ENTERPRISE DEVELOPMENT*. vol. 23, no. 4. pp. 964–983. 2016.

[435] ASGARI, S.; AWWAD, R.; KANDIL, A.; ODEH, I., Impact of considering need for work and risk on performance of construction contractors: An agent-based approach. *AUTOMATION IN CONSTRUCTION*. vol. 65. pp. 9–20. May 2016.

[436] HSU, L.-C., INVESTMENT DECISION MAKING USING A COMBINED FACTOR ANALYSIS AND ENTROPY-BASED TOPSIS MODEL. *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*. vol. 14, no. 3. pp. 448–466. 2013.

[437] ROUSOS, E.-P.; LEE, B.S., Multicriteria analysis in shipping investment evaluation. *MARITIME POLICY & MANAGEMENT*. vol. 39, no. 4. pp. 423–442. 2012.

[438] GHAELI, M.R.; VAVRIK, J.; NASVADI, G., Multicriteria project portfolio selection - Case study for intelligent transportation systems, in *TRANSPORTATION MANAGEMENT AND PUBLIC POLICY 2003: PLANNING AND ADMINISTRATION*, 2003, no. 1848, pp. 125–131.

[439] YOON, Y.; HASTAK, M.; CHO, K., Preference clustering-based mediating group decision-making (PCM-GDM) method for infrastructure asset management. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 83. pp. 206–214. Oct. 2017.

[440] CORDIER, M.; AGUNDEZ, J.A.P.; O'CONNOR, M.; ROCHETTE, S.; HECQ, W., Quantification of interdependencies between economic systems and ecosystem services: An input-output model applied to the Seine estuary. *ECOLOGICAL ECONOMICS*. vol. 70, no. 9, SI. pp. 1660–1671. Jul. 2011.

[441] VASOVIC, J.V.; RADOJICIC, M.; VASOVIC, S., SELECTION OF INVESTMENT PROJECTS IN INDUSTRY BY APPLICATION OF MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS. *METALURGIA INTERNATIONAL*. vol. 17, no. 6. pp. 118–124.

2012.

[442] KOMAROVSKA, A.; USTINOVICHIUS, L.; PECKIENE, A., THE MULTICRITERIA ASSESSMENT OF THE SPATIAL PLANNING PROCESS: THE ASPECT OF INVESTMENT. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*. vol. 21, no. 8. pp. 1070–1084. Nov. 2015.

[443] BILBAO-TEROL, A.; ARENAS-PARRA, M.; CANAL-FERNANDEZ, V., A fuzzy multi-objective approach for sustainable investments. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 39, no. 12. pp. 10904–10915. Sep. 2012.

[444] CHANG, K.-L., A Hybrid Program Projects Selection Model for Nonprofit TV Stations. *MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING*. 2015.

[445] BILBAO-TEROL, A.; ARENAS-PARRA, M.; CANAL-FERNANDEZ, V., A model based on Copula Theory for sustainable and social responsible investments. *REVISTA DE CONTABILIDAD-SPANISH ACCOUNTING REVIEW*. vol. 19, no. 1. pp. 55–76. 2016.

[446] BILBAO-TEROL, A.; ARENAS-PARRA, M.; CANAL-FERNANDEZ, V.; JIMENEZ, M., A sequential goal programming model with fuzzy hierarchies to sustainable and responsible portfolio selection problem. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 67, no. 10. pp. 1259–1273. Oct. 2016.

[447] SERRANO-CINCA, C.; GUTIERREZ-NIETO, B.; REYES, N.M., A social and environmental approach to microfinance credit scoring. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. vol. 112, no. 4. pp. 3504–3513. Jan. 2016.

[448] GARCIA-MELON, M.; PEREZ-GLADISH, B.; GOMEZ-NAVARRO, T.; MENDEZ-RODRIGUEZ, P., Assessing mutual funds' corporate social responsibility: a multistakeholder-AHP based methodology. *ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 244, no. 2. pp. 475–503. Sep. 2016.

[449] RANDARI, A.H., Developing a fuzzy corporate performance rating system: a petrochemical industry case study. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. vol. 131. pp. 421–434. Sep. 2016.

[450] AGER, A.A.; VOGLER, K.C.; DAY, M.A.; BAILEY, J.D., Economic Opportunities and Trade-Offs in Collaborative Forest Landscape Restoration. *ECOLOGICAL ECONOMICS*. vol. 136. pp. 226–239. Jun. 2017.

[451] CABELLO GONZALEZ, J.M.; RUIZ, F.; PAZ, M.-R.; GLADISH BLANCA, P., Interactive Socially Responsible Portfolio Selection: An Application to the Spanish Stock Market. *INFOR*. vol. 52, no. 3. pp. 126–137. 2014.

[452] TENGBERG, A.; CABANBAN, A.S., Lessons learned from investing in marine and coastal management initiatives in the East Asian Seas. *MARINE POLICY*. vol. 38. pp. 355–364. Mar. 2013.

[453] WEI, F.; LU, J.; KONG, Y., Research on Sustainability Financial Performance of Chinese Listed Companies. *SUSTAINABILITY*. vol. 9, no. 5. May 2017.

[454] BALLESTERO, E.; BRAVO, M.; PÉREZ-GLADISH, B.; ARENAS-PARRA, M.; PLÀ-SANTAMARIA, D., Socially Responsible Investment: A multicriteria approach to portfolio selection combining ethical and financial objectives. *European Journal Of Operational Research*. vol. 216, no. 2. pp. 487–494. 2012.

[455] DOBROVOLSKIENE, N.; TAMOSIUNIENE, R., Sustainability-Oriented Financial Resource Allocation in a Project Portfolio through Multi-Criteria Decision-Making. *SUSTAINABILITY*. vol. 8, no. 5. 2016.

[456] ALVAREZ, M.; MORENO, A.; MATAIX, C., The analytic hierarchy process to support decision-making processes in infrastructure projects with social impact. *TOTAL QUALITY MANAGEMENT & BUSINESS EXCELLENCE*. vol. 24, no. 5–6, SI. pp. 596–606. Jun. 2013.

[457] BATTISTI, F.; GUARINI, M.R.; CHIOVITTI, A., The Assessment of Real Estate Initiatives to Be Included in the Socially-Responsible Funds. *SUSTAINABILITY*. vol. 9, no. 6. Jun. 2017.

[458] CRUZ, J.M., The impact of corporate social responsibility in supply chain management: Multicriteria decision-making approach. *DECISION SUPPORT SYSTEMS*. vol. 48, no. 1, SI. pp. 224–236. Dec. 2009.

[459] TSAI, W.-H.; CHOU, W.-C.; HSU, W., The sustainability balanced scorecard as a framework for selecting socially responsible investment: an effective MCDM model. *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*. vol. 60, no. 10. pp. 1396–1410. Oct. 2009.

[460] BILBAO-TEROL, A.; ARENAS-PARRA, M.; CANAL-FERNANDEZ, V.; ANTOMIL-IBIAS, J., Using TOPSIS for assessing the sustainability of government bond funds. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 49. pp. 1–17. 2014.

[461] CARLI, R.; DOTOLI, M.; PELLEGRINO, R.; RANIERI, L., A Decision Making Technique to Optimize a Buildings' Stock Energy Efficiency. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN CYBERNETICS-SYSTEMS*. vol. 47, no. 5. pp. 794–807. 2017.

[462] ZOGRAFIDOU, E.; PETRIDIS, K.; PETRIDIS, N.E.; ARABATZIS, G., A financial approach to

renewable energy production in Greece using goal programming. *RENEWABLE ENERGY*. vol. 108. pp. 37–51. Aug. 2017.

[463] MEZA, J.L.C.; YIDIRIM, M.B.; MASUD, A.S.M., A model for the multiperiod multiobjective power generation expansion problem. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*. vol. 22, no. 2. pp. 871–878. 2007.

[464] PINTO, F.S.; FIGUEIRA, J.R.; MARQUES, R.C., A multi-objective approach with soft constraints for water supply and wastewater coverage improvements. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 246, no. 2. pp. 609–618. Oct. 2015.

[465] BUYUKOZKAN, G.; GULERYUZ, S., A new GDM based AHP framework with linguistic interval fuzzy preference relations for renewable energy planning. *JOURNAL OF INTELLIGENT & FUZZY SYSTEMS*. vol. 27, no. 6. pp. 3181–3195. 2014.

[466] SARACOGLU, B.O., A Qualitative Multi-Attribute Model for the Selection of the Private Hydropower Plant Investments in Turkey: By Foundation of the Search Results Clustering Engine (Carrot(2)), Hydropower Plant Clustering, DEXi and DEXiTree. *JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT-JIEM*. vol. 9, no. 1. pp. 152–178. 2016.

[467] WANG, B.; NISTOR, I.; MURTY, T.; WEI, Y.-M., Efficiency assessment of hydroelectric power plants in Canada: A multi criteria decision making approach. *ENERGY ECONOMICS*. vol. 46, no. SI. pp. 112–121. Nov. 2014.

[468] CONTRERAS, J.; RODRIGUEZ, Y.E., Incentives for wind power investment in Colombia. *RENEWABLE ENERGY*. vol. 87, no. 1. pp. 279–288. Mar. 2016.

[469] DIAKOULAKI, D.; KARANGELIS, F., Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*. vol. 11, no. 4. pp. 716–727. May 2007.

[470] CANIZES, B.; SOARES, J.; VALE, Z.; LOBO, C., Multi-criteria optimisation approach to increase the delivered power in radial distribution networks. *IET GENERATION TRANSMISSION & DISTRIBUTION*. vol. 9, no. 16. pp. 2565–2574. Dec. 2015.

[471] VAZHAYIL, J.P.; BALASUBRAMANIAN, R., Optimization of India's power sector strategies using weight-restricted stochastic data envelopment analysis. *ENERGY POLICY*. vol. 56. pp. 456–465. 2013.

[472] LI, N.; YANG, H.; WANG, L.; HUANG, X.; ZENG, C.; WU, H.; MA, X.; SONG, X.; WEI, Y., Optimization of industry structure based on water environmental carrying capacity under uncertainty of the Huai River Basin within Shandong Province, China. *JOURNAL OF*

CLEANER PRODUCTION. vol. 112, no. 5. pp. 4594–4604. Jan. 2016.

[473] JAKHAR, S.K., Performance evaluation and a flow allocation decision model for a sustainable supply chain of an apparel industry. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. vol. 87. pp. 391–413. Jan. 2015.

[474] GARCIA-BERNABEU, A.; BENITO, A.; BRAVO, M.; PLA-SANTAMARIA, D., Photovoltaic power plants: a multicriteria approach to investment decisions and a case study in western Spain. *ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 245, no. 1–2. pp. 163–175. Oct. 2016.

[475] KAZAGIC, A.; MERZIC, A.; REDZIC, E.; MUSIC, M., Power utility generation portfolio optimization as function of specific RES and decarbonisation targets - EPBiH case study. *APPLIED ENERGY*. vol. 135, no. SI. pp. 694–703. 2014.

[476] IOANNOU, A.; ANGUS, A.; BRENNAN, F., Risk-based methods for sustainable energy system planning: A review. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*. vol. 74. pp. 602–615. Jul. 2017.

[477] HATAMI-MARBINI, A.; KANGI, F., An extension of fuzzy TOPSIS for a group decision making with an application to tehran stock exchange. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 52. pp. 1084–1097. Mar. 2017.

[478] LIN, G.T.R.; TANG, J.Y.H., Appraising Intangible Assets from the Viewpoint of Value Drivers. *JOURNAL OF BUSINESS ETHICS*. vol. 88, no. 4. pp. 679–689. Sep. 2009.

[479] SHEN, K.-Y.; YAN, M.-R.; TZENG, G.-H., Combining VIKOR-DANP model for glamor stock selection and stock performance improvement. *KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS*. vol. 58, no. SI. pp. 86–97. Mar. 2014.

[480] KANAPECKIENE, L.; KAKLAUSKAS, A.; ZAVADSKAS, E.K.; RASLANAS, S., Method and system for Multi-Attribute Market Value Assessment in analysis of construction and retrofit projects. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*. vol. 38, no. 11. pp. 14196–14207. Oct. 2011.

[481] HUCK, N., Pairs selection and outranking: An application to the S&P 100 index. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 196, no. 2. pp. 819–825. Jul. 2009.

[482] HUCK, N., Pairs trading and outranking: The multi-step-ahead forecasting case. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 207, no. 3. pp. 1702–1716. Dec. 2010.

[483] HANAFIZADEH, P.; KAZAZI, A.; BOLHASANI, A.J., Portfolio design for investment

companies through scenario planning. *MANAGEMENT DECISION*. vol. 49, no. 3–4. pp. 513–532. 2011.

[484] PENDARAKI, K.; SPANOUDAKIS, N., Portfolio performance and risk-based assessment of the PORTRAIT tool. *OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 15, no. 3. pp. 359–378. 2015.

[485] SEVASTJANOV, P.; DYMOVA, L., Stock screening with use of multiple criteria decision making and optimization. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 37, no. 3. pp. 659–671. Jun. 2009.

[486] HACIOGLU, U.; DINCER, H., A Comparative Performance Evaluation on Bipolar Risks in Emerging Capital Markets Using Fuzzy AHP-TOPSIS and VIKOR Approaches. *INZINERINE EKONOMIKA-ENGINEERING ECONOMICS*. vol. 26, no. 2. pp. 118–129. 2015.

[487] ULUCAN, A.; ATICI, K.B., A MULTIPLE CRITERIA SORTING METHODOLOGY WITH MULTIPLE CLASSIFICATION CRITERIA AND AN APPLICATION TO COUNTRY RISK EVALUATION. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*. vol. 19, no. 1. pp. 93–124. Mar. 2013.

[488] MASRI, H.; KHAYATI, A., An Imprecise Multiple Criteria Decision Model for Gulf's Foreign Direct Investment in the North African Countries. *INFOR*. vol. 52, no. 3. pp. 108–115. Aug. 2014.

[489] DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., Assessing financial risks using a multicriteria sorting procedure: the case of country risk assessment. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 29, no. 1. pp. 97–109. Feb. 2001.

[490] HACIOGLU, U.; DINCER, H., Evaluation of conflict hazard and financial risk in the E7 economies' capital markets. *ZBORNIK RADOVA EKONOMSKOG FAKULTETA U RIJECI-PROCEEDINGS OF RIJEKA FACULTY OF ECONOMICS*. vol. 31, no. 1. pp. 79–102. 2013.

[491] GRECO, S.; MATARAZZO, B.; SLOWINSKI, R.; ZANAKIS, S., Global investing risk: a case study of knowledge assessment via rough sets. *ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*. vol. 185, no. 1. pp. 105–138. May 2011.

[492] DOUMPOS, M.; ZANAKIS, S.H.; ZOPOUNIDIS, C., Multicriteria preference disaggregation for classification problems with an application to global investing risk. *DECISION SCIENCES*. vol. 32, no. 2. pp. 333–385. 2001.

[493] TOMIC-PLAZIBAT, N.; ALJINOVIC, Z.; PIVAC, S., Risk Assessment of Transitional Economies by Multivariate and Multicriteria Approaches. *PANOECONOMICUS*. vol.

57, no. 3. pp. 283–302. 2010.

[494] DE SMET, Y.; GUZMAN, L.M., Towards multicriteria clustering: An extension of the k-means algorithm. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 158, no. 2. pp. 390–398. Oct. 2004.

[495] CLARO, J.; DE SOUSA, J.P., A multiobjective metaheuristic for a mean-risk multistage capacity investment problem. *JOURNAL OF HEURISTICS*. vol. 16, no. 1. pp. 85–115. 2010.

[496] SAMSON, S.; RENEKE, J.A.; WIECEK, M.M., A review of different perspectives on uncertainty and risk and an alternative modeling paradigm. *RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY*. vol. 94, no. 2. pp. 558–567. Feb. 2009.

[497] GARBUZOVA-SCHLIFTER, M.; MADLENER, R., AHP-based risk analysis of energy performance contracting projects in Russia. *ENERGY POLICY*. vol. 97. pp. 559–581. Oct. 2016.

[498] PENG, Y.; WANG, G.; KOU, G.; SHI, Y., An empirical study of classification algorithm evaluation for financial risk prediction. *APPLIED SOFT COMPUTING*. vol. 11, no. 2. pp. 2906–2915. Mar. 2011.

[499] LI, H.; SUN, R.; LEE, W.-J.; DONG, K.; GUO, R., Assessing Risk in Chinese Shale Gas Investments Abroad: Modelling and Policy Recommendations. *SUSTAINABILITY*. vol. 8, no. 8. Aug. 2016.

[500] SUBRAMANYAN, H.; SAWANT, P.H.; BHATT, V., Construction Project Risk Assessment: Development of Model Based on Investigation of Opinion of Construction Project Experts from India. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*. vol. 138, no. 3. pp. 409–421. Mar. 2012.

[501] YADAV, P.; SHARMA, A.K., Financial inclusion in India: an application of TOPSIS. *HUMANOMICS*. vol. 32, no. 3. pp. 328–351. 2016.

[502] ALADAG, H.; ISIK, Z., Role of Financial Risks in BOT Megatransportation Projects in Developing Countries. *JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING*. vol. 33, no. 4. Jul. 2017.

[503] ENSSLIN, L.; NETO, G.M.; DE LIMA, M.V.A., Constructing and implementing a DSS to help evaluate perceived risk of accounts receivable, in *RESEARCH AND PRACTICE IN MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING*, 2000, vol. 487, pp. 248–259.

[504] WANG, T.-C.; LIN, Y.-L., Applying the consistent fuzzy preference relations to select merger strategy for commercial banks in new financial environments. *EXPERT*

SYSTEMS WITH APPLICATIONS. vol. 36, no. 3. pp. 7019–7026. Apr. 2009.

[505] VOUTILAINEN, R., Comparing alternative structures of financial alliances. *GENEVA PAPERS ON RISK AND INSURANCE-ISSUES AND PRACTICE*. vol. 30, no. 2. pp. 327–342. Apr. 2005.

[506] LEE, W.-S., Merger and acquisition evaluation and decision making model. *SERVICE INDUSTRIES JOURNAL*. vol. 33, no. 15–16. pp. 1473–1494. Dec. 2013.

[507] PASIOURAS, F.; GAGANIS, C.; ZOPOUNIDIS, C., Multicriteria classification models for the identification of targets and acquirers in the Asian banking sector. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 204, no. 2. pp. 328–335. Jul. 2010.

[508] WANG, T.-C.; LIN, Y.-L., Using a Multi-Criteria Group Decision Making Approach to Select Merged Strategies for Commercial Banks. *GROUP DECISION AND NEGOTIATION*. vol. 18, no. 6. pp. 519–536. Nov. 2009.

[509] ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M., Multi-group discrimination using multi-criteria analysis: Illustrations from the field of finance. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 139, no. 2. pp. 371–389. Jun. 2002.

[510] CASQUEIRO, P.X.; RODRIGUES, A.J.L., Neuro-dynamic trading methods. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*. vol. 175, no. 3. pp. 1400–1412. 2006.

[511] CIORNEI, I.; KYRIAKIDES, E., Recent methodologies and approaches for the economic dispatch of generation in power systems. *INTERNATIONAL TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENERGY SYSTEMS*. vol. 23, no. 7. pp. 1002–1027. 2013.

[512] GRISKEVICIUTE-GECIENE, A., THE EVALUATION OF INVESTMENT PROJECTS WITHIN THE TERRITORY OF DEVELOPMENT. *TRANSPORT*. vol. 25, no. 2. pp. 203–214. 2010.

[513] LIENLAND, B., The Implementation of a Cash-Flow-Based Mathematical R&D Project Selection Model. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY PROJECT MANAGEMENT*. vol. 7, no. 3. pp. 15–36. 2016.

[514] TOTENHAGEN, C.; CASPER, D.; FABER, K.; BOSCH, L.; WIGGS, C.; BORDEN, L., Youth Financial Literacy: A Review of Key Considerations and Promising Delivery Methods. *JOURNAL OF FAMILY AND ECONOMIC ISSUES*. vol. 36, no. 2. pp. 167–191. Jun. 2015.

[515] FERREIRA, L.; BORENSTEIN, D.; RIGHI, M.B.; DE ALMEIDA-FILHO, A.T., A fuzzy hybrid integrated framework for portfolio optimization in private banking. *Expert Systems With Applications*. vol. 92. pp. 350–362. 2018.

[516] LÉGER, J.; MARTEL, J.M., A multicriteria assignment procedure for a nominal sorting problematic. *European Journal Of Operational Research*. vol. 138, no. 2. pp. 349–364. 2002.

[517] BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T., On the relations between ELECTRE TRI-B and ELECTRE TRI-C and on a new variant of ELECTRE TRI-B. *European Journal Of Operational Research*. vol. 242, no. 1. pp. 201–211. 2015.

[518] ISHIZAKA, A.; PEARMAN, C.; NEMERY, P., AHPSort: An AHP-based method for sorting problems. *International Journal Of Production Research*. vol. 50, no. 17. pp. 4767–4784. 2012.

[519] ISHIZAKA, A.; GORDON, M., MACBETHSort: A multiple criteria decision aid procedure for sorting strategic products. *Journal Of The Operational Research Society*. vol. 68, no. 1. pp. 53–61. 2017.

[520] PALHA, R.P., A group decision and negotiation framework for hiring subcontractors in civil construction industry, Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

[521] SABOKBAR, H.F.; HOSSEINI, A.; BANAITIS, A.; BANAITIENE, N., A novel sorting method topsis-sort: An application for tehran environmental quality evaluation. *E A M: Ekonomie A Management*. vol. 19, no. 2. pp. 87–104. 2016.

[522] JACQUET-LAGREZE, E., An application of the UTA discriminant model for the evaluation of R&D projects. *Advances In Multicriteria Analysis*. pp. 203–211. 1995.

[523] DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C., A multicriteria classification approach based on pairwise comparisons. *European Journal Of Operational Research*. vol. 158, no. 2. pp. 378–389. 2004.

[524] ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J.R.; ROY, B., Electre Tri-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. *European Journal Of Operational Research*. vol. 204, no. 3. pp. 565–580. 2010.

[525] ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J.R.; ROY, B., A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: The Electre Tri-nC method. *European Journal Of Operational Research*. vol. 217, no. 3. pp. 567–579. 2012.

[526] SŁOWINSKI, R.; GRECO, S.; MATARAZZO, B., Rough Set and Rule-Based Multicriteria Decision Aiding. *Pesquisa Operacional*. vol. 32, no. 2. pp. 213–269. 2012.

[527] GARCÍA-CASCALES, M.S.; LAMATA, M.T., On rank reversal and TOPSIS method. *Mathematical And Computer Modelling*. vol. 56, no. 5–6. pp. 123–132. 2012.

[528] HWANG, C.-L.; YOON, K., *Multiple Attribute Decision Making*. HEIDELBERGER:

SPRINGER, 1981.

[529] DOUMPOS, M.; FIGUEIRA, J.R., A multicriteria outranking approach for modeling corporate credit ratings: An application of the Electre Tri-nC method. *Omega (United Kingdom)*. vol. 0. pp. 1–15. 2018.

[530] BM&FBOVESPA, Empresas Listadas, 2017. [Online]. Available: http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/renda-variavel/empresas-listadas.htm.

[531] PLANEJAR, A Certificação 4 E`s, 2018. [Online]. Available: https://www.planejar.org.br/certificacao/.

[532] LIMA, I.S.; DE LIMA, G.A.S.F.; PIMENTEL, R.C., *Curso de Mercado Financeiro*, 2 ed. São Paulo: Atlas, 2012.

[533] GONÇALVES, A.; DAS NEVES, C.; CALÔBA, G.; NAKAGAWA, M.; MOTTA, R. DA R.; DA COSTA, R.P., *Engenharia Econômica e Finanças*. Elsevier, 2009.

[534] BORENSTEIN, D., Towards a practical method to validate decision support systems. *Decision Support Systems*. vol. 23, no. 3. pp. 227–239. 1998.

ANEXO 1

O presente anexo apresenta uma instância do modelo de otimização não linear para inferência de parâmetros do PDTOPSIS-Sort para a avaliação de debêntures. O problema consiste inferir parâmetros a partir de um conjunto de 9 alternativas de referência (ref_i), 10 critérios de decisão (g_j), e três classes, resultando em dois perfis definidores das mesmas (Pk). A seguir, é exposto o modelo de desagregação:

$$Min.\,ERRO = \frac{1}{3}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_1}\sum_{k=1}^{2}\sigma_{ik}^{+}\right)+\frac{1}{3}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_2}\sum_{k=1}^{2}\sigma_{ik}^{+}+\sigma_{ik}^{-}\right)+\frac{1}{3}\left(\sum_{\forall ref_i \in C_3}\sum_{k=1}^{2}\sigma_{ik}^{-}\right) \quad \text{(A.1)}$$

Sujeito a:

$$Cl(ref_1) + \sigma_{1,1}^{+} \geq Cl(P_1) \quad \text{(A.2)}$$
$$Cl(ref_2) + \sigma_{2,1}^{+} \geq Cl(P_1) \quad \text{(A.3)}$$
$$Cl(ref_3) + \sigma_{3,1}^{+} \geq Cl(P_1) \quad \text{(A.4)}$$
$$Cl(ref_1) + \sigma_{1,2}^{+} \geq Cl(P_2) \quad \text{(A.5)}$$
$$Cl(ref_2) + \sigma_{2,2}^{+} \geq Cl(P_2) \quad \text{(A.6)}$$
$$Cl(ref_3) + \sigma_{3,2}^{+} \geq Cl(P_2) \quad \text{(A.7)}$$
$$Cl(ref_4) + \sigma_{4,2}^{+} \geq Cl(P_2) \quad \text{(A.8)}$$
$$Cl(ref_5) + \sigma_{5,2}^{+} \geq Cl(P_2) \quad \text{(A.9)}$$
$$Cl(ref_6) + \sigma_{6,2}^{+} \geq Cl(P_2) \quad \text{(A.10)}$$
$$Cl(ref_4) - \sigma_{4,1}^{-} < Cl(P_1) \quad \text{(A.11)}$$
$$Cl(ref_5) - \sigma_{5,1}^{-} < Cl(P_1) \quad \text{(A.12)}$$
$$Cl(ref_6) - \sigma_{6,1}^{-} < Cl(P_1) \quad \text{(A.13)}$$
$$Cl(ref_7) - \sigma_{7,1}^{-} < Cl(P_1) \quad \text{(A.14)}$$
$$Cl(ref_8) - \sigma_{8,1}^{-} < Cl(P_1) \quad \text{(A.15)}$$
$$Cl(ref_9) - \sigma_{9,1}^{-} < Cl(P_1) \quad \text{(A.16)}$$
$$Cl(ref_7) - \sigma_{7,2}^{-} < Cl(P_2) \quad \text{(A.17)}$$
$$Cl(ref_8) - \sigma_{8,2}^{-} < Cl(P_2) \quad \text{(A.18)}$$
$$Cl(ref_9) - \sigma_{9,2}^{-} < Cl(P_2) \quad \text{(A.19)}$$
$$g_1(P_1) \geq g_1(P_2) \quad \text{(A.20)}$$
$$g_2(P_1) \geq g_2(P_2) \quad \text{(A.21)}$$
$$g_3(P_1) \geq g_3(P_2) \quad \text{(A.22)}$$
$$g_4(P_1) \geq g_4(P_2) \quad \text{(A.23)}$$
$$g_5(P_1) \geq g_5(P_2) \quad \text{(A.24)}$$
$$g_6(P_1) \geq g_6(P_2) \quad \text{(A.25)}$$
$$g_7(P_1) \geq g_7(P_2) \quad \text{(A.26)}$$

$$g_8(P_1) \geq g_8(P_2) \quad \text{(A.27)}$$

$$g_9(P_1) \geq g_9(P_2) \quad \text{(A.28)}$$

$$g_{10}(P_1) \geq g_{10}(P_2) \quad \text{(A.29)}$$

$$g_1(P_1) \geq \mu_{1C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{1C_{1,2}}| \quad \text{(A.30)}$$

$$g_1(P_2) \geq \mu_{1C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{1C_{2,3}}| \quad \text{(A.31)}$$

$$g_2(P_1) \geq \mu_{2C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{2C_{1,2}}| \quad \text{(A.32)}$$

$$g_2(P_2) \geq \mu_{2C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{2C_{2,3}}| \quad \text{(A.33)}$$

$$g_3(P_1) \geq \mu_{3C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{3C_{1,2}}| \quad \text{(A.34)}$$

$$g_3(P_2) \geq \mu_{3C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{3C_{2,3}}| \quad \text{(A.35)}$$

$$g_4(P_1) \geq \mu_{4C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{4C_{1,2}}| \quad \text{(A.36)}$$

$$g_4(P_2) \geq \mu_{4C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{4C_{2,3}}| \quad \text{(A.37)}$$

$$g_5(P_1) \geq \mu_{5C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{5C_{1,2}}| \quad \text{(A.38)}$$

$$g_5(P_2) \geq \mu_{5C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{5C_{2,3}}| \quad \text{(A.39)}$$

$$g_6(P_1) \geq \mu_{6C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{6C_{1,2}}| \quad \text{(A.40)}$$

$$g_6(P_2) \geq \mu_{6C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{6C_{2,3}}| \quad \text{(A.41)}$$

$$g_7(P_1) \geq \mu_{7C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{7C_{1,2}}| \quad \text{(A.42)}$$

$$g_7(P_2) \geq \mu_{7C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{7C_{2,3}}| \quad \text{(A.43)}$$

$$g_8(P_1) \geq \mu_{8C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{8C_{1,2}}| \quad \text{(A.44)}$$

$$g_8(P_2) \geq \mu_{8C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{8C_{2,3}}| \quad \text{(A.45)}$$

$$g_9(P_1) \geq \mu_{9C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{9C_{1,2}}| \quad \text{(A.46)}$$

$$g_9(P_2) \geq \mu_{9C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{9C_{2,3}}| \quad \text{(A.47)}$$

$$g_{10}(P_1) \geq \mu_{10C_{1,2}} - 0{,}1 \times |\mu_{10C_{1,2}}| \quad \text{(A.48)}$$

$$g_{10}(P_2) \geq \mu_{10C_{2,3}} - 0{,}1 \times |\mu_{10C_{2,3}}| \quad \text{(A.49)}$$

$$g_1(P_1) \leq \mu_{1C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{1C_{1,2}}| \quad \text{(A.50)}$$

$$g_1(P_2) \leq \mu_{1C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{1C_{2,3}}| \quad \text{(A.51)}$$

$$g_2(P_1) \leq \mu_{2C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{2C_{1,2}}| \quad \text{(A.52)}$$

$$g_2(P_2) \leq \mu_{2C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{2C_{2,3}}| \quad \text{(A.53)}$$

$$g_3(P_1) \leq \mu_{3C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{3C_{1,2}}| \quad \text{(A.54)}$$

$$g_3(P_2) \leq \mu_{3C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{3C_{2,3}}| \quad \text{(A.55)}$$

$$g_4(P_1) \leq \mu_{4C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{4C_{1,2}}| \quad \text{(A.56)}$$

$$g_4(P_2) \leq \mu_{4C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{4C_{2,3}}| \quad \text{(A.57)}$$

$$g_5(P_1) \leq \mu_{5C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{5C_{1,2}}| \quad \text{(A.58)}$$

$$g_5(P_2) \leq \mu_{5C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{5C_{2,3}}| \quad \text{(A.59)}$$

$$g_6(P_1) \leq \mu_{6C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{6C_{1,2}}| \quad \text{(A.60)}$$

$$g_6(P_2) \leq \mu_{6C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{6C_{2,3}}| \quad \text{(A.61)}$$

$$g_7(P_1) \leq \mu_{7C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{7C_{1,2}}| \quad \text{(A.62)}$$

$$g_7(P_2) \leq \mu_{7C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{7C_{2,3}}| \quad \text{(A.63)}$$

$$g_8(P_1) \leq \mu_{8C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{8C_{1,2}}| \quad \text{(A.64)}$$

$$g_8(P_2) \leq \mu_{8C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{8C_{2,3}}| \quad \text{(A.65)}$$

$$g_9(P_1) \leq \mu_{9C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{9C_{1,2}}| \quad \text{(A.66)}$$

$$g_9(P_2) \leq \mu_{9C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{9C_{2,3}}| \quad \text{(A.67)}$$

$$g_{10}(P_1) \leq \mu_{10C_{1,2}} + 0{,}1 \times |\mu_{10C_{1,2}}| \quad \text{(A.68)}$$

$$g_{10}(P_2) \leq \mu_{10C_{2,3}} + 0{,}1 \times |\mu_{10C_{2,3}}| \quad \text{(A.69)}$$

$$|g_1(P_1) - g_1(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{1C_{1,2}} - \mu_{1C_{2,3}}| \quad \text{(A.70)}$$

$$|g_2(P_1) - g_2(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{2C_{1,2}} - \mu_{2C_{2,3}}| \quad \text{(A.71)}$$

$$|g_3(P_1) - g_3(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{3C_{1,2}} - \mu_{3C_{2,3}}| \quad \text{(A.72)}$$

$$|g_4(P_1) - g_4(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{4C_{1,2}} - \mu_{4C_{2,3}}| \quad \text{(A.73)}$$

$$|g_5(P_1) - g_5(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{5C_{1,2}} - \mu_{5C_{2,3}}| \quad \text{(A.74)}$$

$$|g_6(P_1) - g_6(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{6C_{1,2}} - \mu_{6C_{2,3}}| \quad \text{(A.75)}$$

$$|g_7(P_1) - g_7(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{7C_{1,2}} - \mu_{7C_{2,3}}| \quad \text{(A.76)}$$

$$|g_8(P_1) - g_8(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{8C_{1,2}} - \mu_{8C_{2,3}}| \quad \text{(A.77)}$$

$$|g_9(P_1) - g_9(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{9C_{1,2}} - \mu_{9C_{2,3}}| \quad \text{(A.78)}$$

$$|g_{10}(P_1) - g_{10}(P_2)| \geq 0{,}75|\mu_{10C_{1,2}} - \mu_{10C_{2,3}}| \quad \text{(A.79)}$$

$$\sum_{j=1}^{10} w_j = 1 \quad \text{(A.80)}$$

$$w_1 \geq 0 \quad \text{(A.81)}$$

$$w_2 \geq 0 \quad \text{(A.82)}$$

$$w_3 \geq 0 \quad \text{(A.83)}$$

$$w_4 \geq 0 \quad \text{(A.84)}$$

$$w_5 \geq 0 \quad \text{(A.85)}$$

$$w_6 \geq 0 \quad \text{(A.86)}$$

$$w_7 \geq 0 \quad \text{(A.87)}$$

$$w_8 \geq 0 \quad \text{(A.88)}$$

$$w_9 \geq 0 \quad \text{(A.89)}$$

$$w_{10} \geq 0 \quad \text{(A.90)}$$

$$\sigma_{1,1}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.91)}$$

$$\sigma_{2,1}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.92)}$$

$$\sigma_{3,1}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.93)}$$

$$\sigma_{1,2}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.94)}$$

$$\sigma_{2,2}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.95)}$$

$$\sigma_{3,2}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.96)}$$

$$\sigma_{4,2}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.97)}$$

$$\sigma_{5,2}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.98)}$$

$$\sigma_{6,2}^{+} \geq 0 \quad \text{(A.99)}$$

$$\sigma_{4,1}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.100)}$$

$$\sigma_{5,1}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.101)}$$

$$\sigma_{6,1}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.102)}$$

$$\sigma_{7,1}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.103)}$$

$$\sigma_{8,1}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.104)}$$

$$\sigma_{9,1}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.105)}$$

$$\sigma_{7,2}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.106)}$$

$$\sigma_{8,1}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.107)}$$

$$\sigma_{9,1}^{-} \geq 0 \quad \text{(A.108)}$$