



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**HÉVILLA SOUZA OLIVEIRA**

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS**  
**COM INTERAÇÕES**

**Caruaru**

**2023**

HÉVILLA SOUZA OLIVEIRA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS  
COM INTERAÇÕES**

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

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

**Orientador:** Prof. Dr. Jônatas Araújo de Almeida

Caruaru

2023

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

O48m Oliveira, Hévilla Souza.  
Modelo multicritério para seleção de portfólio de projetos com interações. / Hévilla Souza Oliveira. – 2023.  
127 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Jônatas Araújo de Almeida.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, 2023.  
Inclui Referências.

1. Portfólios em educação. 2. Análise de interação na educação. 3. Processo decisório por critério múltiplo. 4. Sistemas de suporte de decisão. 5. Método científico. 6. Projetos - Administração. I. Almeida, Jônatas Araújo de (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.) UFPE (CAA 2023-036)

HÉVILLA SOUZA OLIVEIRA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS  
COM INTERAÇÕES**

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

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Aprovada em: 07/06/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Jônatas Araújo de Almeida (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dr. Walton Pereira Coutinho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Profª. Dra. Mischel Carmen Neyra Belderrain (Examinadora Externa)  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

Para José Cesier, Maria Edilene, Tálisson Cavalcante, Heline Souza e Heloise Souza, por serem minhas fontes de amor, motivação e força

## AGRADECIMENTOS

Gostaria inicialmente de agradecer a Deus por me guiar em momentos difíceis, pela dádiva da vida e a oportunidade de usufruir dela ao lado de pessoas tão especiais.

Sou extremamente grata aos meus pais por sempre me encorajarem na busca dos meus sonhos e por todo o esforço que fizeram por nossa família. Agradeço os ensinamentos e amor incondicional que recebi do meu pai José Cesier, esses que para sempre guardarei no meu coração. Agradeço também todo o apoio e conselhos dados pela mulher mais forte que eu conheço, minha mãe, Maria Edilene.

Divido também essa conquista com outras pessoas tão fundamentais na minha vida. Às minhas irmãs, Heline Souza e Heloíse Souza, sou grata pelas palavras de estímulo, risadas mesmo em momentos difíceis e por confiarem em mim. Agradeço a Tálisson Cavalcante, pelo companheirismo, por deixar meus dias mais leves e ser o meu maior incentivador e torcedor em todos os momentos.

Sou grata também pelo apoio e demonstração de carinho da minha família, em especial, meus avós e padrinhos, José Aladier e Maria das Graças e, meu tio, José Xavier. Agradeço aos meus amigos verdadeiros, em particular à Vanessa Maia, por estarem ao meu lado em todos os momentos.

Gostaria de agradecer ao meu orientador Jônatas Almeida por toda a dedicação, incentivo, suporte e ensinamentos que contribuíram para os nossos trabalhos e para a minha formação.

Agradeço também a todos os integrantes do grupo de pesquisa Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy (MAPS), especialmente a Adryelle Sanae e Carolayne Mota, pelo acolhimento, troca de experiências e momentos compartilhados.

Sou grata também aos meus colegas, em particular, agradeço a Claudiane Fernandes e Cristiano Rodrigues, e aos professores do PPGE-CAA, pelas contribuições ao longo do mestrado.

Gostaria de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPS) pelo apoio institucional e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro, que possibilitaram a elaboração deste trabalho.

Agradeço também aos professores Walton Coutinho e Carmen Belderrain por aceitarem o convite para fazerem parte da banca avaliadora.

## RESUMO

Nos últimos anos o mercado vem sofrendo alterações, gerando um impacto nos resultados das empresas. Nesse cenário, uma maneira de atingir seus objetivos estratégicos e aproveitar as oportunidades do mercado é através do desenvolvimento de projetos. Entretanto, como uma organização possui limitações de recursos, é necessário a priorização de projetos. A seleção de portfólio de projetos auxilia na identificação dos projetos a serem implementados conforme a disponibilidade de recursos. Dentre os desafios dessa atividade, ela envolve a avaliação baseada em múltiplos critérios para capturar o impacto em diversas dimensões importantes para os gestores. Além disso, é necessário a incorporação das interações (interdependências ou sinergias) entre os projetos para geração de benefícios e melhor aproveitamento de recursos. Nesse cenário, esse estudo tem o objetivo de elaborar um modelo multicritério para a seleção de portfólio de projetos e um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), considerando interações entre os projetos e múltiplos objetivos. Para embasar o trabalho e investigar como o tema vem sendo tratado na literatura, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). O modelo do estudo é composto por nove etapas divididas em três fases, desde a definição dos parâmetros do problema até a recomendação ao decisor. Na fase de identificação dos portfólios, utiliza-se um procedimento de Árvore de Busca composto por processos como a análise de projetos não monotônicos, escolha dos projetos em cada nó e diferentes funções de agregação dos critérios, para a geração dos portfólios viáveis não dominados. A seleção de um deles é determinada pela aplicação do modelo aditivo com veto para a problemática de escolha. Ademais, para facilitar a utilização modelo, foi desenvolvido o SAD denominado *Portfolio with Interactions Decision Support System* ( $\pi$ -DSS). Ademais, para exemplificar o funcionamento do modelo, foi realizado um estudo de caso em uma empresa de confecções infantis localizada no interior do estado do Pernambuco. Dentre os resultados encontrados, foi possível a identificação do portfólio mais preferível para o decisor, o reconhecimento do impacto das interações no portfólio e que o tempo médio de processamento da Árvore de Busca foi satisfatório, principalmente para pequenos e médios casos. Quanto as contribuições, o modelo estruturado, juntamente com  $\pi$ -DSS, auxiliam no processo de resolução do problema, ajudando assim com que os objetivos organizações sejam alcançados.

**Palavras-chave:** seleção de portfólio; interações entre projetos; multicritério; SAD; RSL.

## ABSTRACT

In recent years, the market has undergone changes, impacting the results of companies. In this scenario, one way to achieve your strategic objectives and take advantage of market opportunities is through project development. However, as an organization has resource limitations, it is necessary to prioritize projects. The selection of project portfolio helps in identifying the projects to be implemented according to the availability of resources. Among the challenges of this activity, it involves evaluation based on multiple criteria to capture the impact on several important dimensions for managers. In addition, it is necessary to incorporate interactions (interdependencies or synergies) between projects to generate benefits and better use of resources. In this scenario, this study aims to develop a multicriteria model for project portfolio selection and a Decision Support System (DSS), considering interactions between projects and multiple objectives. To base the work and investigate how the theme has been treated in the literature, a Systematic Literature Review (SLR) was carried out. The study model consists of nine stages divided into three phases, from defining the parameters of the problem to recommending it to the decision maker. In the portfolio identification phase, a Search Tree procedure is used, consisting of processes such as the analysis of non-monotonic projects, choice of projects in each node and different criteria aggregation functions, for the generation of non-dominated viable portfolios. The selection of one of them is determined by applying the additive model with veto to the choice problem. Furthermore, to facilitate the use of the model, the DSS called Portfolio with Interactions Decision Support System ( $\pi$ -DSS) was developed. Furthermore, to exemplify how the model works, a case study was carried out in a children's clothing company located in the interior of the state of Pernambuco. Among the results found, it was possible to identify the most preferable portfolio for the decision maker, the recognition of the impact of interactions in the portfolio and that the average processing time of the Search Tree was satisfactory, mainly for small and medium cases. As for the contributions, the structured model, together with  $\pi$ -DSS, assist in the problem resolution process, thus helping the organizations objectives to be achieved.

**Keywords:** portfolio selection; interactions between projects; multicriteria; DSS; SLR.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Estágios da RSL.....	45
Gráfico 1 -	Primeira triagem dos artigos.....	48
Gráfico 2 -	Segunda triagem dos artigos.....	49
Gráfico 3 -	Análise de artigos por ano de publicação.....	50
Gráfico 4 -	Quantidade de artigos publicados por revista.....	50
Mapa 1 -	Países dos autores dos artigos.....	51
Gráfico 5 -	Quantidade de artigos por área.....	52
Mapa 2 -	Países de aplicação dos estudos.....	53
Gráfico 6 -	Quantidade de artigos que utilizaram multicritério.....	54
Gráfico 7 -	Métodos/ferramentas utilizados nos artigos.....	54
Gráfico 8 -	Grau de relação entre os projetos.....	66
Figura 2 -	Modelo multicritério de seleção de portfólio de projetos com interações.....	68
Figura 3 -	Árvore de Busca para a elaboração do portfólio de projetos.....	70
Fluxograma 1 -	Árvore de Busca proposta nesse estudo.....	72
Figura 4 -	Diferença entre as árvores para os casos monotônico e não monotônico.....	73
Fluxograma 2 -	Passos do procedimento da árvore.....	75
Figura 5 -	Tela inicial do $\pi$ -DSS.....	85
Figura 6 -	Tela para preenchimento dos dados do problema.....	86
Figura 7 -	Janela dos critérios do problema.....	86
Figura 8 -	Tela dos portfólios viáveis não dominados gerados.....	87
Figura 9 -	Tela dos parâmetros do modelo aditivo com veto para escolha.....	88
Figura 10 -	Tela dos resultados do modelo aditivo com veto para escolha.....	89
Figura 11 -	Janela dos parâmetros da análise de sensibilidade.....	89
Figura 12 -	Tela dos resultados da análise de sensibilidade.....	90
Figura 13 -	Parâmetros do modelo aditivo com veto para escolha do estudo de caso.....	95
Figura 14 -	Parâmetros da análise de sensibilidade.....	96
Figura 15 -	Resultado da análise de sensibilidade.....	97
Gráfico 9 -	Variação dos portfólios.....	97

Gráfico 10 -	Varição dos projetos selecionados.....	98
Figura 16 -	Comparação de cenários com projetos não monotônicos.....	100
Figura 17 -	Dados para o critério “Retorno Financeiro”.....	125
Figura 18 -	Dados para o critério “Sucesso”.....	125
Figura 19 -	Dados para o critério “Qualidade”.....	126
Figura 20 -	Dados para a restrição de “Recurso financeiro”.....	126
Figura 21 -	Dados para a restrição de tempo do “Recurso humano”.....	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de interações abordadas em cada artigo .....	63
Tabela 2 - Critérios do problema .....	92
Tabela 3 - Descrição dos níveis do critério qualidade .....	92
Tabela 4 - Projetos candidatos do problema.....	92
Tabela 5 - Portfólios não dominados gerados pelo $\pi$ -DSS.....	93
Tabela 6 - Resultado do modelo aditivo com veto para escolha do portfólio .....	95
Tabela 7 - Resultados dos testes com projetos monotônicos.....	102
Tabela 8 - Resultados dos testes com projetos não monotônicos.....	104

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APOs	Ativos de Processos Organizacionais
BSC	<i>Balanced Score Card</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>
FAEs	Fatores Ambientais da Empresa
FITradeoff	<i>Flexible and Interactive Tradeoff</i>
GA	<i>Genetic Algorithm</i>
GP	<i>Goal Programming</i>
h	Horas
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
min	Minutos
NSGA-II	<i>Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
$\pi$ -DSS	<i>Portfolio with Interactions Decision Support System</i>
PMO	<i>Project Management Office</i>
PO	Pesquisa Operacional
PPM	<i>Project Portfolio Management</i>
PPMO	<i>Project Portfolio Management Office</i>
PROBE	<i>Portfolio Robustness Evaluation</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
ROC	<i>Rank Order Centroid</i>
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
s	Segundos
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SD	<i>System Dynamics</i>
SMARTER	<i>Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks</i>
SMARTS	<i>Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings</i>
SS-PPS	<i>Scatter Search for Project Portfolio Selection</i>

TI	Tecnologia da Informação
TIR	Taxa Interna de Retorno
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\longrightarrow$	Representa a retirada do projeto acima da seta do conjunto da esquerda e a adição dele no conjunto da direita
$a$	Índice de alternativa
$B1e3.1_j$	Valor da soma das interações de sinergia e canibalização dos projetos de S3_1 e S1 no recurso $j$
$B3.1e3.1_j$	Valor da soma das interações de sinergia e canibalização dos projetos de S3_1 e S3_1 no recurso $j$
$CAN1_{jcrit}^n$	Valor da soma das interações de canibalizações do projeto $n$ com os projetos dos conjuntos S1 no recurso $kcrit$
cont_ciclos	Contador de ciclos dos procedimentos da árvore
cont	Contador relacionado com o nível da árvore
$D_j$	Disponibilidade atual do recurso $j$
$D_{jcrit}$	Disponibilidade atual do recurso $jcrit$
$e_{jcrit}^n$	Consumo do projeto $n$ no recurso $jcrit$
$f_i(a)$	Desempenho da alternativa $a$ no critério $i$
$f_{n,t}$	Valor do impacto causado pela interação entre os projetos $n$ e $t$
$i$	Índice de critério
$ICP_I^n$	Índice Crítico do Projeto – Incluir do projeto $n$
$ICP_{NI}^n$	Índice Crítico do Projeto – Não Incluir do projeto $n$
$ICR_j$	Índice Crítico do Recurso do recurso $j$
$j$	Índice de recurso
$k_i$	Constante de escala em uma escala intervalar do critério $i$
$l_i$	Limiar inferior de veto do critério $i$
M	Conjunto de critérios
matriz_PND	Matriz composta pelos portfólios não dominados
N	Conjunto de projetos
n, t	Índices de projeto
Pcrit	Projeto crítico
$p_i^{max}$	Maior desempenho de uma alternativa no critério $i$
$p_i^{min}$	Menor desempenho de uma alternativa no critério $i$
PNM	Conjunto composto por projetos não monotônicos

PORT	Matriz de vetores com os projetos inclusos nos portfólios intermediários viáveis
n_inicial	Número de nível do portfólio
q_ciclos	Quantidade de ciclos necessários de procedimentos da árvore
$q_i$	Constante de escala transformada para a escala de razão do critério $i$
$R3_j$	Consumo total dos projetos de S3 no recurso $j$
S1	Conjunto de projetos incluídos no portfólio
S2	Conjunto de projetos não incluídos no portfólio
S3	Conjunto de projetos candidatos ainda não analisados
S3_1	Conjunto de projetos de S3 que possuem alguma interação com projetos de S1 e/ou S3 no recurso em questão
$SIN1_{jcrit}^n$	Valor da soma das interações de sinergia em módulo do projeto $n$ com os projetos do conjunto S1 no recurso $jcrit$
$u_i$	Limiar superior de veto do critério $i$
$v(a)$	Função valor da alternativa $a$
vetor_proj	Vetor composto pelos números dos projetos já analisados
$v_i(a)$	Avaliação intracritério da alternativa $a$ no critério $i$
$z(a)$	Índice de veto da alternativa $a$
$z_i(a)$	Função de veto da alternativa $a$ no critério $i$

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1	Relevância e contribuição do estudo.....	19
1.2	Objetivos.....	21
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>21</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>21</i>
1.3	Estrutura de trabalho.....	21
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>23</b>
2.1	Gestão de projetos.....	23
2.1.1	<i>Influências organizacionais sobre projetos.....</i>	<i>25</i>
2.1.2	<i>Interações entre projetos.....</i>	<i>27</i>
2.1.3	<i>Programa e portfólio.....</i>	<i>28</i>
2.2	Gerenciamento de portfólio de projetos.....	29
2.2.1	<i>Seleção de portfólio de projetos.....</i>	<i>31</i>
2.2.1.1	<i>Seleção de portfólio de projetos com interações.....</i>	<i>35</i>
2.3	Decisão multicritério.....	36
2.3.1	<i>Problemáticas de decisão.....</i>	<i>37</i>
2.3.2	<i>Classificação de métodos.....</i>	<i>38</i>
2.3.2.1	<i>Métodos multicritério para a problemática de portfólio.....</i>	<i>41</i>
2.3.2.2	<i>Modelos multicritério para a problemática de portfólio com interações.....</i>	<i>44</i>
<b>3</b>	<b>REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA.....</b>	<b>45</b>
3.1	Estágio I.....	46
3.1.1	<i>Fase 0.....</i>	<i>46</i>
3.1.2	<i>Fase 1 e 2.....</i>	<i>46</i>
3.2	Estágio II.....	47
3.2.1	<i>Fases 3, 4 e 5.....</i>	<i>47</i>



<b>3.2.2</b>	<b><i>Fases 6 e 7</i></b> .....	<b>48</b>
<b>3.3</b>	<b>Estágio III</b> .....	<b>49</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Fase 8</i></b> .....	<b>49</b>
3.3.1.1	<i>Análise dos anos de publicação</i> .....	49
3.3.1.2	<i>Análise das revistas de publicação</i> .....	50
3.3.1.3	<i>Análise de nacionalidade</i> .....	51
3.3.1.4	<i>Análise das áreas dos artigos</i> .....	52
3.3.1.5	<i>Análise dos países de aplicação</i> .....	52
3.3.1.6	<i>Análise de aplicação de multicritério</i> .....	53
3.3.1.7	<i>Análise das abordagens</i> .....	54
3.3.1.8	<i>Análise das interações</i> .....	61
3.3.1.9	<i>Análise do grau de relação entre projetos</i> .....	65
<b>3.3.2</b>	<b><i>Fase 9</i></b> .....	<b>66</b>
<b>4</b>	<b>MODELO</b> .....	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>Fase inicial</b> .....	<b>68</b>
4.1.1	<i>Determinar o decisor</i> .....	69
4.1.2	<i>Definir objetivos e critérios</i> .....	69
4.1.3	<i>Identificar projetos e restrições</i> .....	69
4.1.4	<i>Mapear as interações entre os projetos</i> .....	69
<b>4.2</b>	<b>Implementação</b> .....	<b>70</b>
4.2.1	<i>Gerar os portfólios viáveis não dominados</i> .....	70
4.2.2	<i>Aplicar um método multicritério</i> .....	82
<b>4.3</b>	<b>Finalização</b> .....	<b>84</b>
4.3.1	<i>Realizar análise de sensibilidade</i> .....	84
4.3.2	<i>Avaliar os resultados</i> .....	84
4.3.3	<i>Elaborar recomendação</i> .....	84

<b>5</b>	<b>SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA SELEÇÃO MULTICRITÉRIO DE PORTFÓLIO COM INTERAÇÕES.....</b>	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO.....</b>	<b>91</b>
<b>6.1</b>	<b>Estudo de caso.....</b>	<b>91</b>
<b>6.2</b>	<b>Discussão dos resultados.....</b>	<b>98</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS DO ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>125</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o mercado vem sofrendo alterações. Novas empresas entram constantemente e, com a globalização e a possibilidade da atuação em comércios distintos, há um impacto nos resultados de uma organização. Além disso, o preço variável de insumos e produtos, as novas tecnologias desenvolvidas, crises mundiais, o aumento das exigências dos clientes, mudanças no poder aquisitivo da população e as decisões tomadas pela própria instituição são exemplos de outras questões que influenciam na sua competitividade.

Em especial para o setor de vestuário, no ano de 2018, os maiores produtores mundiais foram a China (US\$ 263 bilhões), Itália (US\$ 36 bilhões) e Turquia (US\$ 22 bilhões); já o Brasil ficou em sétimo lugar com um faturamento de cerca de US\$ 13 bilhões (MENDES JÚNIOR, 2020). Para o estado de Pernambuco, segundo o IBGE (2020), o valor bruto da produção industrial no ano de 2020 foi aproximadamente de R\$ 842 milhões, com o terceiro melhor desempenho no Nordeste (15%) e em décimo lugar no Brasil (2%).

Portanto, as empresas, em destaque as pernambucanas têxteis, devem buscar medidas para melhorar seus desempenhos mercado e crescerem na sua região, ajudando, conseqüentemente, no aprimoramento do desempenho do Brasil. Posto isso, as instituições devem identificar oportunidades e meios para alcançarem as suas estratégias organizacionais e assim se sobressaírem a concorrência.

Segundo Salo et al. (2011), é necessário a alocação de recursos em atividades para o atingimento das suas metas. Uma maneira de atingir seus objetivos é através do desenvolvimento de projetos. Dey (2002) sugere que os projetos permitem que a visão de uma empresa se torne real. Eles são implementados para atender uma demanda ou aproveitar uma oportunidade do mercado, suprir uma necessidade interna, resolver um requisito de um cliente, cumprir uma exigência legal, dentre outras questões (PMI, 2021).

Em especial para as empresas voltadas aos projetos, geralmente existe um número significativo de boas ideias à espera de implementação, porém como os recursos (humanos, de tempo, financeiros, equipamentos, etc.) são escassos, eles acabam competindo ferozmente uns com os outros (JAFARZADEH et al., 2018). Todo projeto se inicia via uma proposta, entretanto, nem todas as propostas tornam-se projetos; pois é necessário a verificação de viabilidade e um processo de priorização, dado que os recursos limitados da empresa devem ser gerenciados criteriosamente (AMIRI, 2010).

Quando existe programas e/ou projetos em execução, as organizações gerenciam esses através de portfólios (PMI, 2017b). Durante a gestão de portfólio, as atividades mais

importantes são voltadas a alocação de recursos, como a seleção e análise de continuidade de projetos (KAISER et al., 2015; KILLEN, 2017). A seleção de portfólio de projetos, de acordo com Liu e Zhang (2019), objetiva a melhor alocação de riquezas em um subconjunto de ações. Logo, selecionar os projetos para compor o portfólio é uma atividade muito importante e recorrente numa organização, visto que geralmente existem mais ações disponíveis do que os recursos restritivos da empresa suportam realizar (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999).

Portanto, no atual cenário econômico mundial, é de extrema importância que as empresas aproveitem as oportunidades do mercado e usem os seus recursos finitos de maneira sábia, de forma a criar um portfólio de sucesso (BENAIJA; KJIRI, 2015). Esse ponto também é defendido por Davoudpour et al. (2012), que relatam que em decorrência à alta competitividade no mercado, as empresas precisam alocar seus recursos limitados, de maneira estratégica, ao subconjunto de projetos mais adequados. Ademais, as organizações precisam aumentar as suas atenções no gerenciamento de portfólio de projetos devido um número crescente de projetos e a necessidade de garantir a eficácia desse gerenciamento, permitindo também o alcance do alinhamento estratégico e o uso eficiente de recursos (VOSS; KOCK, 2013).

### **1.1 Relevância e contribuição do estudo**

A seleção de portfólio é caracterizada pela presença de muitas opções, informações e variáveis incertas, oportunidades dinâmicas, interdependência entre projetos, múltiplos objetivos, riscos, dentre outros (GHASEMZADEH; ARCHER, 2000; BENAIJA; KJIRI, 2015). Dentre dos desafios de seleção de portfólio de projetos, cita-se que a seleção de um subconjunto com base em recursos limitados é um problema de difícil resolução e geralmente envolve objetivos divergentes (GUTJAHR, REITER; 2010). Para Lourenço et al. (2012), decisões de alocação de recursos normalmente requer que os gestores analisem várias dimensões, podendo ser quantitativas ou qualitativas.

De acordo com de Almeida (2013), a decisão multicritério é o cenário que existe ao menos duas ações disponíveis e deseja-se atender a mais de um objetivo, sendo estes normalmente conflitantes. Conforme defendido por Shakhsi-Niaei et al. (2015), os métodos multicritérios auxiliam o decisor na solução de problemas que possuem vários e/ou conflitantes critérios que afetam a tomada de decisão. Para Iniestra e Gutiérrez (2009), quando vários projetos estão sendo avaliados para serem escolhidos, diferentes critérios devem ser analisados.

Portanto, métodos multicritérios auxiliam na seleção de portfólio pela natureza multidimensional desse tipo de problema (KANDAKOGLU et al., 2020).

Outro desafio é a existência de interdependências (interações ou sinergias) entre os projetos, sendo esse um dos aspectos mais críticos no gerenciamento de portfólio de projetos e que mais afeta o processo de seleção de portfólio (LIU; LIU, 2017). Alvarez-García e Fernández-Castro (2018) descrevem que nos mais diversos tipos de organizações, as interdependências entre projetos são onipresentes na seleção de portfólio.

Quando projetos são executados de maneira simultânea, verifica-se que pode existir uma relação de dependência e influência de um sobre os outros em um ou mais dimensões (ZHAI et al., 2021). Por conseguinte, pode-se dizer que dois projetos são interdependentes quando algum dos seus parâmetros, como custo, sucesso ou valor, dependem de outros projetos selecionados, logo o benefício total do portfólio não é igual à soma das contribuições individuais dos projetos (SCHMIDT, 1993).

As interações entre os projetos podem trazer benefícios e impactar o sucesso do portfólio (BATHALLATH et al., 2019). Isto posto, conhecer as interdependências auxilia na escolha dos projetos mais adequados e na elevação da taxa de sucesso do portfólio (RUNGI; HILMOLA, 2011). Ademais, as interdependências podem trazer várias contribuições para empresa, um exemplo é que o compartilhamento de recursos entre os projetos pode gerar uma economia de custos em alguns deles e assim, uma diminuição de gastos no nível do portfólio (BATHALLATH et al., 2017).

Entretanto, mesmo as interações sendo bastante comuns na prática e importantes na avaliação do portfólio, poucos artigos abordam adequadamente essa temática posto à complexidade adicionada ao modelo (HALL et al., 2015). De acordo com Martinsuo (2013), mesmo as interações entre projetos delineando e impactando na tomada de decisão do portfólio, elas não são frequentemente adicionadas nos estudos de gerenciamento de portfólio de projetos. Colaborando, Liu e Liu (2017) sugerem que as teorias mais antigas de seleção de portfólio, na maioria dos casos, presumem que cada projeto é independente em relação aos demais. Ademais, modelos que incorporam interações geralmente enfrentam dificuldade em abordar juntamente múltiplos objetivos (ALVAREZ-GARCÍA; FERNÁNDEZ-CASTRO, 2018).

Como percebido acima, a seleção de portfólio de projetos auxilia no atingimento dos objetivos estratégicos organizacionais e conseqüentemente, melhora a competitividade no mercado. Essa é uma atividade difícil para as empresas, principalmente quando incorporado múltiplos objetivos e interações entre projetos, sendo assim, vários estudos não abordam esses aspectos. Todavia, esses elementos devem ser considerados para tornar o problema mais

parecido com o real, balancear objetivos e tirar proveito das interações, gerando assim um maior valor para a instituição. Dessa forma, é de suma importância modelos que apoiem os gestores no processo de decisão multicritério de seleção de portfólio de projetos com interações.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo geral***

Esse trabalho tem o propósito de desenvolver um modelo multicritério para a seleção de portfólio de projetos e um Sistema de Apoio de Decisão (SAD), considerando interações entre os projetos e múltiplos objetivos, para auxiliar os gestores nessa tomada de decisão.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

O trabalho possui os seguintes objetivos secundários:

- Descrever uma base teórica para contextualização dos conceitos de projetos, portfólio, interações e tomada de decisão multicritério;
- Elaborar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre a seleção de portfólio de projetos com interações, para um melhor entendimento da área;
- Formular um modelo multicritério destinado a seleção de portfólio de projetos com interações;
- Desenvolver um SAD, para facilitar a aplicação do modelo proposto;
- Realizar uma aplicação prática em uma empresa do ramo de confecção, para exemplificar o funcionamento e as vantagens do modelo.

## **1.3 Estrutura de trabalho**

O presente estudo foi segmentado em sete capítulos. O Capítulo 1 abordou uma contextualização sobre a importância da seleção de portfólio de projetos, alguns dos seus principais desafios e a relevância do trabalho. Também foram apresentados os objetivos primário e secundários da pesquisa. No Capítulo 2 é descrito a fundamentação teórica do estudo, com destaque nos principais conceitos relacionados à gestão de projetos e portfólio, interações e sobre decisão multicritério.

Para contribuir com o entendimento sobre seleção de portfólio de projetos com interações, exibe-se no Capítulo 3 o procedimento de nove fases realizado na RSL e os seus resultados, com destaque na análise dos tipos de interações empregados nos estudos e as principais observações da revisão. O Capítulo 4 aborda detalhadamente as etapas do modelo proposto, desde a necessidade de levantamento dos dados do problema até etapa de recomendação dos resultados para o decisor.

O Capítulo 5 contempla a descrição do SAD desenvolvido, no qual é mostrado as suas funcionalidades e informações necessárias para utilização. Já o Capítulo 6 apresenta o contexto de aplicação do modelo, os resultados encontrados e uma discussão sobre eles, bem como uma análise crítica do modelo. O trabalho finaliza com o Capítulo 7, que aborda as principais considerações e contribuições da pesquisa, e as sugestões de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo aborda a base conceitual do trabalho. É descrito assuntos relacionados a projeto, programa e portfólio, sobre os seus gerenciamentos e seleção de portfólio de projetos. Também é discutido o conceito de interações entre os projetos e a necessidade de incorporá-las nos modelos de seleção de portfólio. Em seguida, são apresentados os conceitos relacionados a tomada de decisão multicritério, especialmente para a problemática de portfólio.

### 2.1 Gestão de projetos

Pich et al. (2002) descrevem que geralmente um projeto é tratado como sendo um conjunto de atividades sequenciais e simultâneas que geram um resultado de valor. Aubry e Hobbs (2011) conceituam um projeto como uma organização temporária que produz uma solução exclusiva para um problema específico, geralmente implantado para gerar alguma mudança ou inovação. Anantatmula (2010) defende que se configura como um meio para atingir os objetivos organizacionais, sendo único, complexo e marcado por diversas incertezas.

Conforme o PMI (2021), o projeto é um empreendimento temporário com o intuito de criar um resultado único e específico. Ele é único porque sempre, pelo menos um dos seus fatores se modifica, sejam as metas, recursos ou o meio em que está inserido (VIDAL; MARLE, 2008). Logo, como a sua principal característica é ser único, trata-se de algo que nunca foi totalmente realizado anteriormente e que nunca será replicado exatamente do mesmo modo no futuro. Dessa forma, mesmo que dois esforços tenham algumas semelhanças, alguns dos seus aspectos chaves são distintos e configuram-se assim, como projetos diferentes.

Ainda com base no conceito de projeto, outra característica é que por ser um esforço temporário, cada projeto tem um começo e fim estimado (PMI, 2021). Ademais, ressalta-se que o seu sistema de produção também tem um fim. Após atingir os resultados esperados ou a organização optar por finalizar o projeto, os recursos utilizados para a sua realização são realocados para outras atividades da empresa. Portanto, o seu sistema de produção também tem um aspecto temporário, finalizado quando o projeto é encerrado.

Além disso, devido a sua unicidade, existe uma ausência de informações durante o desenvolvimento de um projeto, onde elas não são totalmente conhecidas durante sua elaboração e acarretando, por conseguinte, em várias incertezas que podem o afetar. Archibald (2003) sugere que outra característica específica comum aos projetos é que eles são compostos



por diversas incertezas, sendo que essas são reduzidas à medida que o projeto vai sendo concluído.

Segundo PMI (2021), um projeto possui um ciclo de vida composto por várias fases, desde o seu início até a sua finalização, onde geralmente essas não são segmentadas de maneira evidente. Ademais, um projeto não é o resultado, e sim configura-se como sendo os processos para criar um resultado específico almejado; e a cada fase do projeto, novos resultados intermediários são criados, podendo esses serem usados como *input* em fases posteriores (ARCHIBALD, 2003).

Destaca-se também que um projeto é composto por ciclos de retroalimentação chamados de elaboração progressiva. Esse é um processo periódico de replanejamento, porque conforme o projeto avança, novas informações são conhecidas ou mudanças podem ser necessárias, assim é realizado o refinamento e o aumento do nível de detalhes dos planos de gerenciamento do projeto (PMI, 2021). Isso também está relacionado com a sobreposição dos processos e as incertezas, pois à medida que os processos vão sendo executados e as informações vão se completando, ocorre a elaboração do projeto de maneira gradual.

Outro ponto importante sobre o tema é o gerenciamento dos projetos. Quanto maior o número de projetos e mais impacto eles trazem para o sucesso das instituições, torna-se cada vez mais necessário a utilização de procedimentos específicos e metodologias para gerenciá-los. A gestão de projetos moderna, de acordo com Vidal e Marle (2008), surgiu durante a Segunda Guerra Mundial e foi inicialmente destinada a projetos militares e de construção. Quanto à sua definição, o gerenciamento de projetos corresponde a aplicação de conhecimentos, habilidades e técnicas para o atingimento dos requisitos dos projetos de maneira eficaz e eficiente (PMI, 2021). De acordo com Zhai et al. (2009), por meio do gerenciamento de projetos, é possível identificar, equilibrar e alcançar as expectativas e agregar valor aos seus *stakeholders* (partes interessadas). Portanto, a gestão de projetos deve focar no gerenciamento interno do próprio projeto, para se obter os resultados esperados pelos *stakeholders* e dessa forma apoiar as estratégias organizacionais.

Ressalta-se também que modificações nas operações podem ser o propósito do projeto, porém o gerenciamento de operações e o gerenciamento de projetos não podem ser confundidos. Enquanto o primeiro busca dar continuidade na produção de produtos/serviços de maneira eficiente, o segundo objetiva atingir resultados específicos (PMI, 2021). Na mesma temática, Lester (2014) defende que o gerenciamento de projetos é essencialmente focado na gestão de mudanças, exemplo a realocação de uma fábrica; enquanto o gerenciamento de um

negócio tem como propósito dar continuidade as operações de uma instituição, minimizando possíveis interrupções, como a administração de uma fábrica.

### ***2.1.1 Influências organizacionais sobre projetos***

Não se pode presumir que uma instituição está inserida em um vácuo, ou seja, que não existem outras partes presentes no seu ambiente; na verdade, ela faz parte de vários sistemas complexos interrelacionados (AUBRY et al., 2007). Conseqüentemente, os projetos estão inseridos em ambientes que não são inteiramente controlados, logo alguns fatores podem exercer influências positivas e/ou negativas sobre eles. Nessa linha de raciocínio, eles são influenciados por diversas questões tanto internas quanto externas à organização, impactando na eficiência do gerenciamento, risco e sucesso deles. A seguir, serão abordados alguns dos fatores que podem interferir nos projetos.

- Estruturas organizacionais;

Uma estrutura organizacional, como o próprio nome sugere, refere-se como a instituição é estruturada em relação ao gerenciamento dos seus projetos. Patah (2004) descreve que elas são encarregadas das aplicações de gestão dos projetos na empresa, devendo alinhadas com as estratégias do negócio. Os tipos de estruturas organizacionais mais comuns na literatura são as estruturas funcional, matricial e projetizada (PATAH; CARVALHO, 2009). O PMI (2021) também cita outros tipos de estruturas, sendo essas: estrutura simples, multidivisional, virtual, híbrida e o escritório de gerenciamento de projetos. Ainda conforme os autores, dentre as questões que devem ser analisadas para a escolha do tipo de estrutura mais adequada, pode-se citar a capacidade de especialização, extensão de controle, disponibilidade de recursos, escopo de autoridade, capacidade de adaptação etc.

- *Project Management Office* (PMO);

O PMO, ou escritório de gerenciamento de projeto, é idealizado para apoiar os gerentes de projetos, desenvolvendo abordagens para os procedimentos e processos organizacionais, fornecendo instruções e gerenciando as informações dos projetos (LESTER, 2014). A principal vantagem do PMO é a oferta de conhecimentos, padrões, procedimentos e experiências no gerenciamento de projetos (TOO; WEAVER, 2014).

Dentre os papéis do PMO, Aubry e Hobbs (2011) sugerem que esses geralmente são o monitoramento de desempenho dos projetos, a padronização de métodos e procedimentos, auxílio no aperfeiçoamento das competências das equipes, facilitação da comunicação de informações internas e dos resultados para a alta administração. Portanto, é a estrutura que

realiza a padronização dos processos de governança dos projetos, facilita o compartilhamento de recursos, ferramentas e informações, bem como desenvolve as metodologias que são normalmente usadas na organização para o gerenciamento dos projetos. Destaca-se ainda que, o PMO pode possuir papel de apoio aos gerentes de projetos ou em outros casos, geralmente em projetos mais importantes ou quando existe baixa maturidade dos gerentes, assume um posicionamento de mais controle.

- Gerente de projetos;

Um dos indivíduos que mais impacta no sucesso do projeto é o gerente de projetos, dado que esse profissional atua e é responsável diretamente pelo projeto que supervisiona. Quanto a sua definição, um gerente de projetos é o funcionário da empresa escolhido para comandar e liderar a equipe do projeto, sendo importante que ele possua habilidades de conhecimentos técnicos, estratégicos e de liderança (PMI, 2021).

Em alguns casos, existem confusões na diferenciação entre os papéis do gerente de projetos e do PMO. A principal diferença entre eles é que o gerente de projetos foca especificamente no atingimento dos objetivos do projeto que ele gerencia, enquanto o PMO deve se preocupar com todos os projetos que dá apoio, de forma que os objetivos do negócio sejam alcançados.

- Fatores ambientais e ativos de processos organizacionais;

Segundo o PMI (2021), duas importantes categorias de influência são os Fatores Ambientais da Empresa (FAEs) e Ativos de Processos Organizacionais (APOs). Seguindo a definição dos autores, os FAEs são externos aos projetos, ou seja, fora de controle da equipe de projetos, exemplos são a cultura organizacional, disponibilidade de recursos, condições de mercado e padrões governamentais. Já os APOs, são procedimentos e planos internos da empresa, como políticas organizacionais, modelos a serem seguidos e repositórios de conhecimento (PMI, 2021).

- *Stakeholders*;

A definição de *stakeholder*, conforme Gibson (2000), é um indivíduo/grupo que pode gerar ameaças ou benefícios para algo. No âmbito de projetos, *stakeholder* é definido como uma pessoa ou instituição que possui interesses no projeto (LESTER, 2014). Elas podem afetar de maneira ativa ou passiva o projeto, ou ser afetada por ele; dessa forma é importante identificar e analisar o impacto e expectativas deles, para garantir que o projeto entregue os resultados esperados pelas partes interessadas. Exemplos internos são os patrocinadores, membros da equipe e o escritório de projeto, já os externos podem ser os clientes, fornecedores e usuários finais (PMI, 2021).

Ademais, o valor de um projeto é obtido quando os requisitos (exemplo de tempo, qualidade, financeiros, benefícios etc.) necessários para satisfazer as exigências explícitas e/ou implícitas dos *stakeholders* são atingidos (ZHAI et al., 2009). Outra questão é que, o sucesso de um projeto não é o mesmo para todos os seus *stakeholders* (TOOR; OGUNLANA, 2010). Por conseguinte, é muito importante a identificação e o gerenciamento das suas expectativas. Jepsen e Eskerod (2009) sugerem ser necessário a realização de gestão de *stakeholders*, com o intuito alterar e/ou fortalecer a inclinação desses em contribuir com o projeto.

### **2.1.2 Interações entre projetos**

Dentre as questões que devem ser analisadas sobre os projetos, um dos aspectos extremamente importantes são as interações (interdependências ou sinergias) entre eles. Elas podem proporcionar criação de valor e permitem uma redução de custos para as empresas (BATHALLATH et al., 2016). Conceituando o termo, Killen e Kjaer (2012) definem que projetos são interdependentes quando o sucesso de um, depende do sucesso de outro(s).

Esse fenômeno acontece porque, de acordo com Engwall (2003), nenhum projeto é uma ilha, ou seja, os projetos não são sistemas fechados e independentes. Portanto, o valor de um projeto não depende apenas das suas próprias propriedades, mas sim de outros projetos que também estão sendo feitos pela instituição, devido às interações que existem entre eles (GIROTRA et al., 2007). Assim, quando analisamos um portfólio, sendo esse normalmente composto por vários projetos, pode ser percebido interações entre alguns deles.

Existem inúmeros benefícios quando as interações são consideradas durante a tomada de decisão. Arifin et al. (2015) apontaram que as principais vantagens de conhecer e introduzir as interdependências são: melhoria no gerenciamento do portfólio, maior chance de sucesso dos projetos, aumento do compartilhamento de informações, economia de recursos, redução de retrabalhos, dentre outras. De maneira inversa, o gerenciamento ineficaz das interações pode ocasionar desperdícios financeiros e de recursos, atrasos no cronograma e competição entre os projetos (BATHALLATH et al., 2016).

Ainda sobre essa temática, Canbaz e Marle (2016) descrevem que as empresas devem ter atenção durante o gerenciamento dos seus projetos, a fim de se beneficiar de interações positivas e evitar as negativas. As instituições devem compreender as relações existentes entre os seus projetos, para tomar as decisões mais adequadas para garantir os melhores resultados dos seus portfólios (KILLEN; KJAER, 2012).

Segundo Santhanam e Kyparisis (1996), é mais vantajoso para a empresa reconhecer e incorporar interdependências, pois senão, acaba sendo consumido mais recursos com menos projetos selecionados para o seu portfólio. Elas são tão importantes que, Lee e Kim (2000) sugerem que, o custo decorrente da dificuldade da coleta de dados das interdependências para a modelagem do problema é menos crítico do que o risco de escolher projetos inadequados quando não se considera essas relações.

Esse assunto é mais discutido no próximo capítulo, onde também são apresentados diversos estudos que tratam sobre as interações de projetos, os principais tipos de interdependências abordados na literatura e os graus mais comuns desses relacionamentos entre os projetos.

### ***2.1.3 Programa e portfólio***

Além dos projetos, as instituições podem empregar em suas operações os programas. A definição de programa, segundo o PMI (2017a), é uma coordenação de projetos relacionados, programas subsidiários e atividades desses, gerenciadas para se alcançar objetivos que não seriam possíveis caso eles fossem gerenciados individualmente. Corroborando, Archibald (2003) descreve que um programa é um empreendimento composto normalmente por mais de um projeto, sendo geralmente de longo prazo. Entretanto, ressalta-se que um programa não é um projeto de maior proporção (PMI, 2021).

Quanto a gestão desse, consiste na utilização de conhecimentos e princípios para gerenciar os programas, obtendo assim o alinhamento dos seus componentes e garantindo que os objetivos e benefícios esperados seguem entregues (PMI, 2017a). Dessa forma, tem o papel de harmonizar os objetivos comuns que existem entre os projetos que compõem o programa, focando nas relações e resultados dos projetos.

Já quando os componentes do programa não possuem objetivos comuns ou complementares, ou quando esses possuem compartilhamento de recursos, normalmente são gerenciados em um portfólio (PMI, 2017a). Quanto à definição de recursos, Helfat e Peteraf (2003) conceituam que são ativos ou insumos, podendo ser tangíveis ou não, que uma instituição tem posse, controle ou possui acesso em um regime semipermanente.

Assim, quando os projetos e programas competem por pelo menos um recurso, as empresas devem analisar a melhor maneira de equilibrar e otimizar o seu portfólio (PMI, 2017b). Ainda segundo eles, o portfólio deve ser visto como um sistema, sendo este composto

por programas e projetos, que no que lhe concerne, são meios temporários que implementam as mudanças.

Para área de gestão de projetos, um portfólio é definido como um grupo de projetos que são implantadas sob a gestão de uma organização, sendo que eles competem por recursos disponíveis (pessoal, financeiro, temporal etc.) do patrocinador (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999). O PMI (2017b) define que portfólio é uma coleção de projetos, programas e operações, podendo esses serem relacionados ou não, gerenciados conjuntamente para se conquistar objetivos estratégicos. Portanto, o portfólio deve representar os direcionamentos futuros almejados pela empresa, assim ele existe para atingir as metas organizacionais. Logo, o seu propósito difere, por exemplo, de projetos, já que esses se preocupam somente com os meios para atingir os seus resultados únicos, incorporando dessa forma apenas uma orientação da estratégia da empresa e não se atentando com questões gerenciais de alto nível.

Quanto a determinação do sucesso do portfólio, Jonas (2010) descreve que esse pode ser definido através de quatro aspectos: o sucesso médio dos seus projetos nos quesitos tempo, orçamento, escopo e satisfação dos clientes; a exploração das interações entre os projetos; o alinhamento com as estratégias da empresa; e o balanceamento dos riscos, diversificação de áreas e uso de tecnologias.

Outra questão importante é o seu ciclo de vida. Segundo o PMI (2017b), o ciclo de vida do portfólio é composto pela iniciação, planejamento, execução e otimização, porém ressalta-se que como os projetos, as fases não são necessariamente sequenciais. Ademais, o PMI (2017b) também defende que uma das atividades recomendadas da fase de planejamento é a identificação das interdependências entre os componentes do portfólio.

Em seguida, é explorado mais sobre o gerenciamento de portfólio de projetos.

## **2.2 Gerenciamento de portfólio de projetos**

O PMI (2017b) define que o *Project Portfolio Management* (PPM), ou gerenciamento de portfólio de projetos, é a aplicação de princípios e práticas de gestão para alinhar o portfólio com os objetivos estratégicos da organização; assim ele realiza a identificação, seleção, priorização, equilíbrio e supervisão dos componentes do portfólio. Na mesma temática, Lester (2014) sugere que está relacionado com a identificação, análise, priorização e acompanhamento de cada projeto, e para as grandes empresas, de cada programa. Sumarizando, possui o papel de observar o holístico e focar em aspectos estratégicos. Isso posto, seleciona e prioriza os

programas e projetos alinhados com a estratégia da empresa, além de gerenciar a alocação de recursos necessários para esses componentes.

Logo, o PPM se dedica em melhorar o desempenho do portfólio através do fornecimento de estruturas e informações adequadas sobre os projetos, e os seus inter-relacionamentos, para aos gestores (KILLEN, 2017). Já Kopmann et al. (2017) descrevem que o PPM além de buscar traduzir as estratégias de um negócio em roteiros de implementação através dos projetos, também fornece supervisão para as estratégias que vão emergindo.

Ele é geralmente utilizado quando as organizações executam vários projetos de maneira simultânea, devendo essa se dedicar ao gerenciamento do seu portfólio (RUNGI, 2010). Além disso, o gerenciamento de portfólio difere do gerenciamento de programas, que busca atingir objetivos mais específicos através da harmonização dos seus elementos e o de projetos, que se restringe a um nível mais detalhado (PMI, 2017b). Portanto, o gerenciamento de portfólio é focado mais em aspectos estratégicos e os gerenciamentos de programas e, principalmente, de projetos são mais operacionais.

Segundo Benaija e Kjiri (2015), o PPM assegurará que os projetos e programas sejam revisados de forma a priorizar a alocação de recursos e para garantir que o portfólio esteja alinhado com as estratégias da empresa. Assim, segundo Clegg et al. (2018), ele pode ser visto como uma ponte entre as estratégias de uma instituição e a gestão dos seus projetos. Colaborando, Jugend et al. (2016) descrevem que ele auxilia na priorização e na alocação dos recursos da empresa, buscando direcioná-los aos projetos mais promissores, evitando assim o desperdício dos recursos.

Algumas questões podem impactar no gerenciamento do portfólio de projetos, dentre eles pode-se citar o *Project Portfolio Management Office* (PPMO). O PPMO é uma entidade da organização, de um nível hierárquico mais elevado, destinada a garantir que as metas da empresa sejam alcançadas e que os *stakeholders* tenham suas necessidades atendidas, podendo assumir um papel mais autoritário ou de apoio (UNGER et al., 2012).

Além disso, assim como existem partes interessadas nos resultados dos projetos, de maneira semelhante esses devem ser mapeados e gerenciados para ter suas necessidades atendidas no nível do portfólio. Os *stakeholders* do portfólio são as pessoas, instituições e/ou grupos que podem ser impactados ou impactar as suas atividades e resultados, podendo afetar que a empresa atinja os seus objetivos. Entretanto, diferente das partes interessadas dos projetos, os *stakeholders* para portfólio normalmente possuem um nível mais alto de gerenciamento e possuem um interesse maior (PMI, 2017b). Assim, é importante que as organizações busquem

maximizar o valor gerado para suas partes interessadas através de um portfólio de projetos alinhado com os seus objetivos de negócio (COSTANTINO et al., 2015).

Unger et al. (2012) descrevem que possui três funções principais: coordenação (auxilia na alocação e resolução de conflitos de recursos, na avaliação e seleção de portfólio), controle (assiste no gerenciamento de informações pertinentes ao portfólio) e apoio (tarefas relacionadas a motivação e treinamento das equipes).

Quanto aos principais processos realizados para o gerenciamento de portfólio de projetos, segundo Jonas (2010), existem normalmente quatro grupos, sendo esses interdependentes:

- Estruturação de portfólio: Tarefas de análise de recursos disponíveis, avaliação e seleção das propostas, planejamento do portfólio e integração das estratégias com o portfólio, dentre outras;
- Gerenciamento de recursos: Atividades relacionadas com o planejamento dos recursos entre os projetos, a resolução de conflitos e possíveis realocações de recursos;
- Direcionamento de portfólio: Tarefas necessárias para coordenação do portfólio, como o monitoramento contínuo do andamento dos projetos e utilização da capacidade, e medidas corretivas necessárias;
- Aprendizagem organizacional e exploração do portfólio: refere-se a atividades de avaliação dos projetos e dos resultados pós-projetos, disseminando as informações e as aprendizagens adquiridas (JONAS, 2010).

Ainda nessa temática, Ghassemi e Amalnick (2018) defendem que uma das atividades mais importantes para a gestão estratégica de uma empresa é a escolha dos “projetos certos” que deverão compor o seu portfólio. Portanto, a seleção de portfólio é uma área de pesquisa considerada bastante atraente a vários anos, pois o gerenciamento dos projetos é essencial para as empresas (KESKIN, 2020). Devido a sua importância, esse assunto é mais explorado abaixo.

### ***2.2.1 Seleção de portfólio de projetos***

Existem na literatura diversas definições para seleção de portfólio de projetos. Archer e Ghasemzadeh (1999) descrevem ser uma atividade periódica de escolha de projetos disponíveis e/ou em andamento, para montar um portfólio que atenda os objetivos organizacionais de maneira desejável, sem violar nenhuma restrição da empresa. Medaglia et al. (2007) definem ser a atividade em que decisor aloca recursos limitados e seleciona um conjunto de projetos concorrentes, onde deve considerar um ou mais objetivos organizacionais. Para Li et al. (2019),



é o problema de determinação do subconjunto de projetos para atender os objetivos da organização, respeitando as restrições indispensáveis.

Özpeynirci et al. (2022) sugerem que se configura como o processo de subdivisão de recursos, seja eles financeiro, temporal, de infraestrutura, dentre outros, para alguns elementos em específico, de forma a maximizar o benefício total. Arratia-Martinez et al. (2021) descrevem ser um problema cujo propósito é montar o portfólio com base em um conjunto de projetos candidatos, selecionando-os de acordo com um ou mais critérios de avaliação, podendo ser determinado por uma decisão individual ou em grupo. Em razão desses conceitos, em suma, a seleção de portfólio de projetos busca a determinação de quais projetos candidatos devem ser implementados pela empresa, para escolher um conjunto alinhado com as estratégias da instituição e que respeite os recursos disponíveis.

A determinação do portfólio é necessária, já os gestores são obrigados a priorizar um subgrupo de projetos, dado a empresa possuir limitações de recursos que impedem a implementação de todos os seus projetos de uma única vez (LOURENÇO et al., 2012). Essa ideia também é defendida por Azimi et al. (2019), que relatam que a maioria das empresas possuem recursos limitados, dessa forma iniciar todos os projetos de maneira simultânea não é viável. Segundo Kleinmuntz (2007), geralmente o recurso limitante é o financeiro, porque a empresa pode ter dificuldades em obter fundos próprios e/ou emprestados; mas também pode ser capacidade insuficiente das instalações, tempo, conhecimentos técnicos etc.

Logo, os projetos passam por um processo de priorização para compor o portfólio da empresa. A difícil escolha de quais projetos devem compor o portfólio são geralmente realizadas por um comitê de seleção composto por gestores sêniores com muita experiência, podendo incluir gerentes de projetos e de portfólio (HALL et al., 2015). Além disso, normalmente para as decisões de gerenciamento de portfólio, os comitês de gestão e governança de portfólio formados geralmente se relacionam com comitês de revisão de projetos (PATANAKUL, 2015).

Outra questão importante é que, geralmente, o que é melhor para um projeto pode não ser o mais indicado para o portfólio (BROWNING; YASSINE, 2016). Apoiando esse argumento, Chien (2002) sugere que existe uma grande diferença na mensuração de preferência do portfólio na totalidade e dos seus projetos, visto que, os objetivos para o portfólio são distintos em relação aos objetivos almejados com a seleção de cada projeto individual. Liesiö (2006) também relata que o problema de seleção de portfólio de projetos possui vários desafios devido às incertezas dos resultados dos projetos, a presença de diversos recursos, informações incompletas de preferência do decisor e avaliação com base em muitos critérios.

Em virtude da importância e esses desafios, as empresas devem possuir métodos para priorizar/selecionar a combinação certa de projetos, de forma a garantir o cumprimento das suas estratégias e conseguirem atender às suas limitações de recursos e capacidades (ANYAECHE; OKWARA, 2011). Isso também é defendido por Zorluoğlu e Kabak (2022), que sugerem que a escolha certa dos projetos para compor o portfólio da empresa permite que ela atinja as suas metas e se sobressalte à concorrência.

Dessa forma, explorando estudos sobre essa área, existem vários tipos de abordagens que podem ser utilizadas para a determinação de um portfólio de projetos. Lahtinen et al. (2017) definem que as principais são

- abordagem valor-custo: nela ocorre uma priorização dos projetos de acordo com uma relação de custo-benefício;
- abordagem da teoria de portfólio moderna: determina a alocação ideal de recurso para cada nível de risco almejado;
- abordagem de otimização multiobjetivo: visa auxiliar na escolha do portfólio preferível dentro de um conjunto de portfólios viáveis não dominados;
- abordagem com heurísticas: tem como propósito selecionar o portfólio com um desempenho satisfatório, não obrigatoriamente sendo o ótimo;
- abordagem de análise de decisão de portfólio: objetiva encontrar o portfólio ideal por meio de avaliação multicritério e otimização matemática;
- análise de decisão de portfólio com informação incompleta: subdivisão da anterior que visa estabelecer os portfólios não dominados recorrendo a intervalos para representar as consequências (LAHTINEN et al., 2017).

A seguir serão apresentados como se originou os estudos sobre seleção de portfólio de projetos, bem como alguns dos métodos aplicados nesse tipo de problema e exemplos de contextos de projetos distintos.

A origem do conceito de portfólio é decorrente da teoria de investimento financeiro (LIU; LIU, 2017). O trabalho pioneiro com os conceitos iniciais de seleção de portfólio surgiu a cerca de sete décadas e foi o de Markowitz (1952), onde o autor foi o primeiro a organizar opções dentro de uma carteira para tratar da diversificação de risco no ramo financeiro, aplicando modelos de otimização para analisar um conjunto de investimentos (ABBASSI et al., 2014; JAFARZADEH et al., 2018; ALBANO et al., 2021). No contexto de projetos, esse tipo de seleção começou a ter estudos no final da década de 50, com trabalhos como o de Mottley e Newton (1959), e teve mais notoriedade na literatura a partir das décadas de 60 e 70 (SALO et al., 2011).

Quanto às áreas de conhecimento em destaque que auxiliam na modelagem e solução desse tipo de problema, segundo Haas e Bekhor (2016), a seleção de portfólio não é um problema novo para a Pesquisa Operacional (PO). Assim, diversos estudos desenvolvem modelos com base em conceitos e ferramentas de PO.

Takami et al. (2018) relatam que os decisores se deparam com decisões de selecionar ou não projetos para compor o portfólio, portanto a seleção de portfólio é geralmente modelada como um problema de programação inteira binária. Nemhauser e Wolsey (1999) definem esse tipo de problema tem em vista resolver uma função objetivo de maximização ou minimização sujeito a restrições específicas para o problema, entretanto é composto por restrições adicionais para que as variáveis do problema assumam valores inteiros. Já a programação inteira binária é um caso particular da anterior, porém com restrições que obrigam que as variáveis tenham valor zero ou um (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Um exemplo de estudo da área é o de Mohagheghi et al. (2017), que desenvolveram um modelo de programação inteira para selecionar projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), abordando variáveis *Interval Type-2 Fuzzy Set* para tratar das incertezas dos projetos e os avaliando em relação ao risco e retorno esperado. Li et al (2015) também a abordaram no seu modelo de seleção de portfólio de projetos, no qual os autores incorporaram vários horizontes de tempo, divisibilidade de projetos e restrições de reinvestimento, cardinalidade e precedência.

Tansakul e Yenradee (2020) formularam modelos de otimização de programação inteira com variáveis *fuzzy* para a seleção de portfólio de projetos de melhoria para um banco na Tailândia. Quanto às perspectivas não lineares, Kettunen e Lejeune (2022) formularam um modelo de programação não linear com as abordagens de gerenciamento de projetos em cascata e ágil, resolvido por um algoritmo do tipo bisseção e aplicado em uma empresa de *software* de projetos de P&D nos Estados Unidos.

Destaca-se também que para a área de portfólio, uma análise exaustiva de todas as combinações de projetos geralmente é inviável, por causa do crescimento exponencial (dois elevados ao número de candidatos) da quantidade de combinações (LOURENÇO et al., 2012). Logo, um conjunto com, por exemplo, vinte projetos, resulta em mais de um milhão de combinações distintas, mais precisamente 1048576. Dessa forma, as heurísticas e metaheurísticas são boas para facilitar o processo de resolução de problemas complexos como o de seleção de portfólio com menos esforço computacional, entretanto não garantem que seja encontrado uma solução ótima. Heurísticas são algoritmos utilizados para solucionar de maneira razoável problemas muito grandes e/ou difíceis, e para resolvê-lo em menos tempo (WOLSEY, 2021). Metaheurística é um método heurístico de resolução geral, composta por

estruturas e estratégias para evitar ótimos locais, com intuito de gerar uma boa solução para o problema (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Um exemplo de estudo com esses algoritmos é o de Kumar et al. (2018), que formularam um modelo de maximização do benefício total para o problema de seleção e agendamento de portfólio de projetos, sendo esse resolvido por uma metaheurística híbrida composta pelos algoritmos *Teaching Learning Based Optimization* e *Tabu Search*. Mira et al. (2015) recomendaram o emprego de uma modificação do *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* para a solução desse tipo de problema, realizando testes de desempenho da metaheurística em casos simulados baseado em projetos de energia elétrica no Brasil. Harrison et al. (2022) propuseram e testaram diversas abordagens heurísticas, metaheurísticas e híbridas para a solução do problema de seleção e agendamento de portfólio de projetos, gerando dados para experimentos baseados em projetos militares na Austrália.

Além disso, como os projetos possuem objetivos distintos e podem impactar de diversas formas o portfólio, muitos trabalhos também abordam métodos multicritério na formulação dos seus modelos. Estudos desse tipo serão abordados mais adiante na discussão de tomada de decisão multicritério. Destaca-se também que, para cenários com interações entre projetos, é necessário a construção de modelos específicos, conforme é discutido a seguir.

#### 2.2.1.1 Seleção de portfólio de projetos com interações

Atualmente as interações devem ser vistas como inerentes nos portfólios de projetos (LIU; LIU, 2017). Bathallath et al. (2016) sugere que uma das questões que determinam o sucesso do portfólio é a incorporação adequada das interdependências entre os projetos. Isso é importante porque não necessariamente o projeto com maior valor individual garantirá que o portfólio em que ele está inserido seja o melhor, dado que ele pode não ter um bom desempenho em conjunto com outras ações candidatas (LAHTINEN et al. 2017).

Outro a tratar da temática é o próprio PMI (2017b), que descreve que interações podem estar presentes no portfólio, assim a soma dos atributos dos recursos não é determinada por um simples somatório, podendo impactar que o resultado seja maior ou menor. Ademais, também descrevem que elas tornam o processo de equilíbrio de capacidade do portfólio mais complexo. Logo, é importante que as interações sejam analisadas durante essa tomada de decisão.

Quanto ao seu conceito, a seleção de portfólio de projetos com interações objetiva maximizar a contribuição do portfólio nas estratégias organizacionais, em que os projetos são selecionados e combinados com base na premissa que as interações são plenamente

introduzidas (ZHAI et al., 2021). Essa é uma área importante de estudo, pois, segundo Teller et al. (2012), a complexidade no gerenciamento de portfólio de projetos é devida: a composição do conjunto, o grau de interdependência entre eles e magnitude/previabilidade na mudança dos elementos e das interações.

Isto posto, Killen (2013) defende que, conforme o gerenciamento de portfólio vai amadurecendo e as interdependências entre os projetos aumentam, as ferramentas tradicionais que presumem que os projetos são independentes não são mais suficientes. Assim sendo, os gerentes de projetos devem gerenciar as interdependências de maneira a maximizar o sucesso geral do portfólio (PATANAKUL; MILOSEVIC, 2009). Os gestores devem fazer análises profundas para descobrir as interdependências existentes entre os projetos, para assim escolher um portfólio de modo a evitar ao máximo as interações negativas e aproveitar as interações positivas, alcançando um conjunto de projetos mais integrado e com maior valor para a empresa (NASCIMENTO, 2013).

Outro desafio é que os gestores podem possuir dificuldades na estruturação de modelos que introduzem adequadamente as interações entre projetos. A exemplo, para a abordagem de seleção com base na relação de custo-benefício, quando a seleção inclui esse conceito, a otimalidade da solução não é garantida (LAHTINEN et al. 2017).

Mais um caso é que, uma das principais deficiências de modelos de programação linear para seleção de portfólio é que se assume aditividade das funções, ou seja, modelo apenas pode representar a soma linear da contribuição individual dos projetos (CHIEN, 2002). Alguns estudos buscam resolver esse problema, como Oliveira e Almeida (2021), que desenvolveram um modelo multicritério para resolver a não linearidade da função objetivo e restrições de recursos de um problema da mochila quando adicionado às contribuições das interações entre projetos. Os autores adicionaram ao modelo, restrições para linearizar o problema e possibilitando assim, modificá-lo de um modelo de programação não linear para programação linear.

Com o intuito de investigar e entender mais sobre essa área de pesquisa, o próximo capítulo apresenta uma discussão mais aprofundada sobre o tema, onde serão descritos diversos trabalhos que abordam modelos de seleção de portfólio de projetos com interações.

### **2.3 Decisão multicritério**

As tomadas de decisão são tão antigas quanto o próprio ser humano (KÖKSALAN et al., 2016). Dentre as perspectivas usadas para auxiliar na solução de problemas de decisões, as

abordagens multicritério vêm ganhando maior atenção pela sua adaptabilidade em contextos reais de tomada de decisão (KHALILI-DAMGHANI et al., 2013). Elas são bastante utilizadas porque na maioria dos cenários reais, as empresas possuem mais de um objetivo (ZORLUOĞLU; KABAK, 2022). Logo, é necessário se considerar diversos pontos de vista, a exemplo recursos financeiros e humanos, aspectos ambientais, tempo, qualidade, ética, dentre outros (ROY, 2016).

Quando aplicadas para a solução desses tipos de problemas, as abordagens multicritério permitem o mapeamento de diversas perspectivas de estruturação da decisão com base nas opiniões dos atores, auxiliam na preservação dos significados reais das avaliações correspondentes aos critérios e facilitam a determinação do papel de cada critério no processo decisório (ROY, 2016). Essas abordagens são compostas por um conjunto de alternativas, pelo menos dois critérios e no mínimo um decisor (FIGUEIRA et al., 2005).

Definindo os termos, uma alternativa é uma ação disponível que pode ser selecionada pelo tomador de decisão (TRANTAPHYLLOU, 2000). Ainda segundo o autor, os critérios, ou atributos, representam os diferentes objetivos nos quais são analisados os desempenhos das alternativas. Quanto ao conceito de decisor, esse é o indivíduo que tem as suas preferências consideradas durante a estruturação e resolução do problema de decisão (ROY, 1996).

### **2.3.1 Problemáticas de decisão**

Um tema importante para a tomada de decisão multicritério são as problemáticas. A problemática considerada na decisão determina qual o tipo de resultado será obtido (ROY, 2016), dessa forma ela deve estar alinhada com o propósito almejado pelo decisor para a resolução do problema que está enfrentando. A seguir, serão explorados os tipos clássicos de problemáticas seguindo as definições de Roy (1996).

- **Problemática de escolha:** Utilizada quando o objetivo do decisor é selecionar apenas uma opção mais desejável. Exemplos de estudos são a seleção de modo de falha crítico um departamento de transfusão de sangue (AKRAM et al., 2022) e de serviço médico de emergência brasileiro (FRAZÃO et al., 2022). Além desses, é possível utilizar uma abordagem de ordenação, formando assim um *ranking* e com base nele escolher apenas uma alternativa, como para seleção de localização para uma filial (OLIVEIRA et al., 2021), de instalações de usinas flutuantes fotovoltaicas (DEVECI et al., 2022) e de fornecedores de componentes de células de combustível e hidrogênio (ALIPOUR et al., 2021).

- Problemática de classificação: Empregada em cenários que o intuito é segmentar todas as alternativas do problema em classes pré-definidas. Os contextos de segmentação de fornecedores (REZAEI et al., 2022), priorização de tubos de uma rede de distribuição de água (CAETANO et al., 2022), de cursos de uma empresa de treinamento (COSTA et al., 2022) e de módulos de *Enterprise Resource Planning* (CARPITELLA et al., 2021) são exemplos de estudos com essa problemática.
- Problemática de ordenação: Relacionada com a obtenção de um *ranking*, dessa forma gera informações de preferências entre alternativas. Pode-se citar os contextos de priorização de projetos de infraestrutura (COSTA et al., 2021), ordenação de candidatos trainee (SOUZA et al., 2022) e avaliação de parques eólicos flutuantes sentados na Espanha (DÍAZ; SOARES, 2021).
- Problemática descritiva: Usada para auxiliar na descrição das alternativas e das suas consequências de maneira formalizada ou no desenvolvimento de um processo cognitivo. Ademais, normalmente também está incluída nas problemáticas anteriores.

Outra problemática é a de portfólio, que se destina a seleção de um subconjunto de alternativas dentre o conjunto de opções disponíveis, respeitando as restrições impostas ao problema (ALMEIDA, 2013). Exemplos são a seleção de culturas agrícolas (JULIO; ALMEIDA, 2021), de investimentos (WU et al., 2022) e de projetos de geração de energia (BORTOLUZZI et al., 2021). No contexto de portfólio de projetos, essa temática é explorada mais adiante.

### 2.3.2 Classificação de métodos

Quanto a classificação dos métodos multicritérios, uma forma de segmentar eles é através da racionalidade do decisor. A racionalidade é a maneira como o decisor enxerga a compensação do problema em questão, se para ele um baixo desempenho de uma alternativa em um critério pode ser compensado ou não por um desempenho superior em outro critério. Normalmente os métodos são segmentados em métodos para racionalidade compensatória e para racionalidade não compensatória.

Caso o decisor acredite que pode haver um *tradeoff* entre os critérios, então denominamos que esse possui uma racionalidade compensatória (ALMEIDA, 2013). Um exemplo seria um jogo de futebol americano, dado que mesmo perdendo em algum dos tempos, se o time obtiver um número de pontos superior ao do seu adversário até o final da partida, ele vencerá. Dessa forma, existe a compensação de pontos ao decorrer dos tempos do jogo.

Dentre os principais métodos compensatórios, um dos mais aplicados pelo fácil entendimento e simplicidade é o aditivo determinístico, do âmbito da *Multi-Attribute Value Theory*. O modelo aditivo, sendo um método de critério único de síntese, determina o valor global de cada alternativa através da soma da ponderação dos valores das constantes de escala dos critérios com os desempenhos intracritério das alternativas (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Em especial para esse tipo de método, existem alguns procedimentos associados a ele para a obtenção dos parâmetros do modelo, sendo os principais o *Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings* (SMARTS), *Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks* (SMARTER) e o Tradeoff. Para o SMARTS, as constantes de escala são determinadas pelo procedimento *swing*, em que o decisor vai ordenando e fornecendo valores para os critérios com base nas suas preferências (EDWARDS, BARRON, 1995). Para o SMARTER, é aplicado o procedimento *Rank Order Centroid* (ROC), sendo composto por equações que determinam valores aproximados para constantes de escala com base na ordenação de preferência dos critérios (EDWARDS, BARRON, 1995). Já o Tradeoff determina os valores das constantes de escala através de comparações dos níveis de indiferenças entre consequências para os critérios (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Outro método com as premissas do modelo aditivo determinístico, porém que lida informações incompletas, é a família *Flexible and Interactive Tradeoff* (FITradeoff). Esses métodos surgiram originalmente com o estudo de Almeida et al. (2016), sendo motivados para facilitar a elicitación das constantes de escala, tornando o processo menos complicado para o decisor, bem como porque nem sempre ele consegue ou está interessado em expressar as suas preferências nos detalhes exigidos pelo Tradeoff. Os métodos FITradeoff tomam como base a estrutura axiomática do Tradeoff, porém ao invés de relações de indiferenças, empregam relações de preferência para ser cognitivamente mais fácil e reduzir o número de inconsistências que podem existir (DE ALMEIDA et al., 2016). Eles têm em comum que com base nessas relações, criam uma região viável de pesos em um processo iterativo, onde esse espaço vai sendo atualizado à medida que o decisor responde novas perguntas.

Dependendo do tipo de problemática, os métodos alteram alguns fundamentos principais. O FITradeoff para problemática de escolha analisa alternativas dominadas, potencialmente ótimas e ótimas (DE ALMEIDA et al., 2016). Já FITradeoff para ordenação utiliza o conceito de dominância entre alternativas (FREJ et al., 2019). Enquanto isso, o FITradeoff para classificação compara os limites de fronteira das classes (KANG et al., 2020). O FITradeoff para portfólio, analisa relações de custo-benefício para determinar o portfólio (FREJ et al., 2021). Além disso, eles contam com SADs que tornam o processo de elicitación e



solução mais simples, fornecendo também a possibilidade de análise de sensibilidade e exploração dos resultados. Também se ressalta que foram realizadas atualizações em alguns dos métodos, nos quais ocorreu a integração de uma funcionalidade para avaliação holística (DE ALMEIDA et al., 2021).

Mais um método que toma como base o modelo aditivo, é o modelo aditivo com veto. De Almeida (2013) criou um método que incorpora uma função veto além da função valor, com o propósito de alternativas com desempenhos inaceitáveis não sejam favorecidas. Para a problemática de escolha, a função veto age para rejeitar alternativas com desempenhos inferiores aos aceitáveis e para a problemática de ordenação, é vetado melhores posições delas no *ranking* (DE ALMEIDA, 2013).

Ademais, pode-se citar o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o qual é um procedimento com abordagem hierárquica para estabelecer, comparar os critérios e realizar a comparação par a par das alternativas em cada critério em uma escala de cinco níveis (SAATY, 1987). Ademais a *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) também possui o modelo aditivo como o método mais explorado, entretanto para esse cenário, ele incorpora função utilidade ao invés de função valor e as suas consequências são probabilísticas (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Em relação ao outro tipo de racionalidade, se o decisor julgar que não deve existir compensação entre os critérios, então a sua racionalidade é não compensatória (ALMEIDA, 2013). Um exemplo é o campeonato brasileiro de futebol, onde independentemente da quantidade de gols a mais que um time fizer contra outro time em uma na partida, ele receberá os mesmos três pontos por vencer o jogo. Dessa forma, o saldo de gols não exerce influência na posição do time no campeonato caso não haja empate no número de pontos com outros times, visto que o saldo de gols é o primeiro critério de desempate, logo esse caso presume uma racionalidade não compensatória com o uso do método lexicográfico.

Para os métodos não compensatórios, na literatura são difundidas principalmente as famílias dos métodos *Elimination et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE) e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE), que são métodos de sobreclassificação. Esses tipos de métodos, também denominados de *outranking*, abordam a estrutura de preferência de sobreclassificação e fazem a comparação par a par das alternativas em cada critério (ALMEIDA, 2013).

Ainda segundo o autor, os métodos ELECTREs possuem duas fases de implantação, sendo elas a construção das relações de sobreclassificação e a exploração das relações de sobreclassificação. Entretanto, os métodos variam o tipo de problemática e critérios, bem como o modo que resolvem o problema.

O ELECTRE I é destinado para a problemática de escolha, lida com critérios verdadeiros e tem como intuito final construir o kernel, sendo esse um subconjunto de alternativas que não sobreclassificam umas às outras (ROY, 1968). De maneira semelhante, o ELECTRE IS também foi formulado para a problemática de escolha e possui como resultado um kernel, entretanto são adicionados ao modelo limiares de preferência e indiferença (ROY, 1991). O ELECTRE II, aplicado quando existe uma problemática de ordenação e a necessidade apenas do uso de critérios verdadeiros, é um método que estabelece relações de sobreclassificação fortes e fracas (ROY, 1973).

Também para ordenação, o ELECTRE III incorpora limiares de preferência, indiferença e veto (ROY, 1991). Nesse método, é inicialmente feito a comparação par a par das alternativas nos critérios e em seguida o *ranking* é construído através da interseção de processos de destilação descendente e ascendente (ROY; BOUYSSOU, 1993). Como o método anterior, o ELECTRE IV é para a problemática de ordenação e usa pseudocritérios, entretanto não são utilizados pesos no modelo (ROY; HUGONNARD, 1982). Já o ELECTRE TRI é um método de sobreclassificação para a problemática de classificação e aplicado quando é preciso o uso de pseudocritérios, onde ocorre a comparação das alternativas com os perfis de limites das categorias (YU; ROY, 1992).

Quanto a família PROMETHEE, estes métodos geram uma relação de sobreclassificação valorada. Para cada par de alternativas é determinado o grau de sobreclassificação e em seguida, com base neles, são calculados os fluxos de sobreclassificação de saída e entrada (ALMEIDA, 2013). Para o PROMETHEE I, duas pré-ordens são elaboradas com base nos fluxos de saída e entrada, combinadas de maneira a gerar uma pré-ordem parcial; já para o PROMETHEE II, usa-se o fluxo líquido, que é a diferença entre os de saída e entrada, formando uma pré-ordem completa dado que não permite incomparabilidades entre as alternativas (BRANS; VINCKE, 1985).

O PROMETHEE V, indicado para a problemática de portfólio, realiza a avaliação das alternativas baseada no PROMETHEE II com restrições adicionadas específicas ao problema e determina o portfólio pela solução de um modelo de programação inteira binária (BRANS; MARESCHAL, 1992). Outros métodos são o PROMETHEE III e IV, elaborados para problemas com componentes estocásticos, sendo o último destinado em específico para conjuntos contínuos de ações e o PROMETHEE VI, em que os pesos assumem valores intervalares pelo decisor não conseguir ou desejar definir valores fixos (ALMEIDA, 2013).

### 2.3.2.1 Métodos multicritério para a problemática de portfólio

O problema de seleção de portfólio de projetos possui natureza multiobjetivo e é uma tomada de decisão complexa, onde envolve a escolha de um subconjunto dentre muitos projetos, sujeito a restrições e prioridades (KHALILI-DAMGHANI et al., 2013). Corroborando, Wu et al. (2019) descrevem que os métodos multicritério são muito utilizados devido a tomada de decisão de portfólio normalmente abranger diversos objetivos e critérios.

Assim, modelos multicritérios são boas alternativas para a modelagem de seleção de portfólio pela análise simultânea em diversos critérios (INIESTRA; GUTIÉRREZ, 2009). Lahtinen et al. (2017) descreve que, além dessa questão, outra dificuldade durante a seleção de portfólio são os objetivos empresariais conflitantes. Ademais, Liesiö (2006) defende que geralmente essa tarefa é mais complexa do que para decisões tradicionais, como para a problemática de escolha, pois geralmente existem muitos projetos candidatos e consequentemente, um número alto de portfólios possíveis.

Com esses desafios, a análise e seleção de vários projetos, principalmente quando esses afetam diversos objetivos estratégicos, são atividades difíceis para os gerentes (HERNANDEZ-PERDOMO et al., 2017). Dessa forma, é importante a elaboração de estudos de modelos multicritérios que auxiliem os gestores no processo de seleção de portfólio de projetos.

Almeida et al. (2014) descrevem que os modelos multicritério de seleção de portfólio podem ser segmentados em dois grupos:

- Abordagem do tipo 1: Gera todos os portfólios viáveis e em seguida, com base em métodos multicritério, escolhe um deles;
- Abordagem do tipo 2: Inicialmente realiza a avaliação multicritério para os itens e em seguida, a agregação deles formando o portfólio.

Ambas as abordagens possuem vantagens e desvantagens. Kandakoglu et al. (2020) descrevem que o tipo 1 é melhor para tratar interações entre projetos, porém exige um maior esforço computacional, já que todos os portfólios viáveis devem ser determinados. Já o tipo 2 lida melhor com critérios quantitativos e qualitativos, porém, em contrapartida, pode ocorrer erros na priorização de projetos dado coeficientes mensurados de maneira incorreta na função objetivo. A seguir serão apresentados alguns estudos que tratam de seleção de portfólio de projetos em contexto multicritério.

Liesiö e Salo (2012) abordaram probabilidades de cenários, funções de utilidade e um modelo de programação multiobjetivo linear inteira binária para seleção de portfólio de projetos de investimento. Também com programação multiobjetivo, Zorluoğlu e Kabak (2022)

elaboraram um modelo para seleção e agendamento de portfólio de projetos de desenvolvimento de negócios de uma empresa de TI (Tecnologia da Informação).

Já o modelo multiobjetivo de Özpeynirci et al. (2022) foi empregado para maximizar o benefício total e equilibrar a distribuição de recursos no portfólio, sendo a fronteira de soluções não dominadas determinada por uma metaheurística *Variable Neighborhood Search*, com o intuito de reduzir o esforço computacional. Vetschera e Almeida (2012) realizaram uma adaptação no PROMETHEE V, onde especialmente para caso com muitos itens candidatos, propuseram o conceito de portfólio c-ótimo. No trabalho, eles formularam um modelo que considera um número fixo de itens “c” e o resolveram variando esse valor sistematicamente até que o portfólio limite seja encontrado, sendo comparado todos os portfólios c-ótimos gerados e escolhido o preferível.

Outro exemplo é o estudo de Khalili-Damghani et al. (2013), que criaram um modelo baseado em *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) para reduzir o problema de seleção de portfólio multiobjetivo em um biobjetivo, sendo esse resolvido por *Fuzzy Goal Programming*. Ademais, Amirian e Sahraeian (2018) propuseram um modelo híbrido composto por programação inteira com uma função de ponderação aditiva e variáveis cinza para o problema de seleção e programação de portfólio de projetos.

Ressalta-se ainda que para os casos de programação matemática com agregações aditivas para a mensuração do portfólio, um problema que ocorre na modelagem é o uso da normalização do desempenho da alternativa nos critérios através de uma escala intervalar. Nesses casos, o valor zero representa o pior e um, o melhor desempenho no critério. Isso gera algumas inconsistências: mudanças na função valor são enviesadas dependendo da quantidade de itens candidatos, o resultado da não inclusão de um item não é necessariamente o mesmo para todos eles e uma sequência diferente de agregações pode gerar resultados diferentes (ALMEIDA et al., 2014).

Ainda segundo os autores, esses problemas podem ser resolvidos pela utilização da normalização através de uma escala de razão. Dessa forma, para a problemática de portfólio, deve-se efetuar a normalização do desempenho das alternativas nos critérios por meio de uma escala de razão (Equação 1) ou a transformação da constante de escala original com escala intervalar ( $k_i$ ) para a escala de razão ( $q_i$ ) (Equação 2), sendo o denominador adicionado para manter que o somatório das constantes de escala seja igual a um (ALMEIDA et al., 2014).

$$v_i(a) = \frac{f_i(a)}{p_i^{max}} \quad (1)$$

$$q_i = \frac{k_i * \frac{p_i^{max}}{p_i^{max} - p_i^{min}}}{\sum_{i=1}^M k_i * \frac{p_i^{max}}{p_i^{max} - p_i^{min}}} \quad (2)$$

Onde:

$v_i(a)$  é a avaliação intracritério da alternativa  $a$  no critério  $i$ ;

$f_i(a)$  é o desempenho da alternativa  $a$  no critério  $i$ ;

$p_i^{max}$  é o maior desempenho de uma alternativa no critério  $i$ ;

$p_i^{min}$  é o menor desempenho de uma alternativa no critério  $i$ ;

$k_i$  é a constante de escala em uma escala intervalar do critério  $i$ ;

$q_i$  é a constante de escala transformada para a escala de razão do critério  $i$ .

### 2.3.2.2 Modelos multicritério para a problemática de portfólio com interações

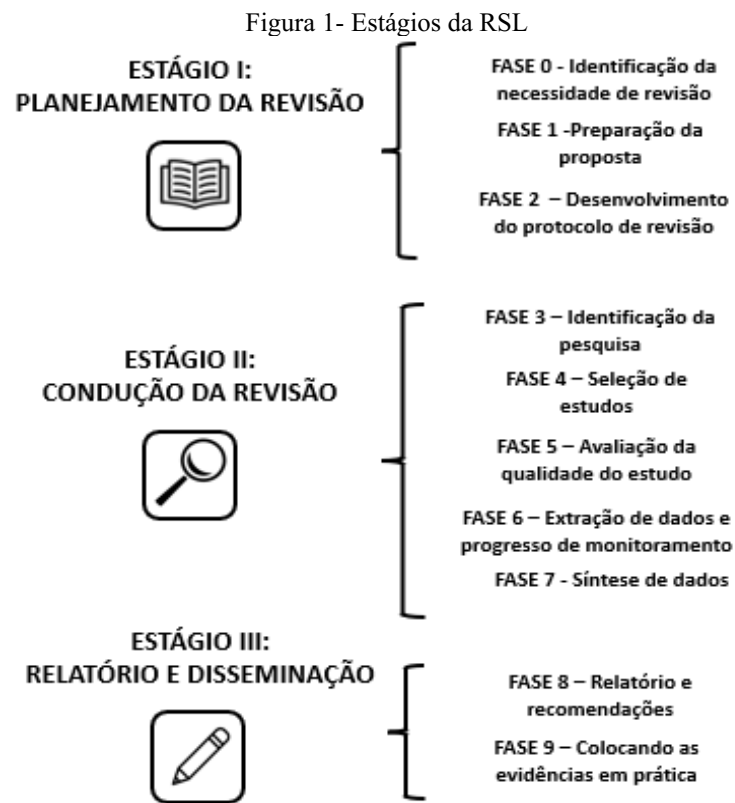
Como descrito anteriormente, é de suma importância que as interações entre projetos sejam analisadas durante a seleção de portfólio. Também foi visto que esse tipo de decisão está normalmente relacionado a diversos objetivos. Killen (2017) sugere que, quando existe a premissa de interdependências, existe um aumento na complexidade da tomada de decisão para o PPM, fora que devem ser analisadas com os impactos financeiros, de riscos e estratégicos do portfólio.

Portanto, uma área relevante a ser explorada é a tomada de decisão multicritério de seleção de portfólio de projetos com interações. Os próprios autores clássicos Belton e Stewart (2002) cita as interdependências durante a definição da problemática de portfólio. Para eles, essa problemática está relacionada à seleção de um grupo de alternativas em relação ao conjunto inicial, em que deve ser levado em conta tanto as características individuais dos itens, quanto às interações positivas e negativas que existem entre eles.

Essa temática é abordada de maneira mais aprofundada no próximo capítulo, sendo nessa apresentados vários modelos multicritério de seleção de portfólio de projetos com interações.

### 3 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Revisões de literatura proporcionam evolução do conhecimento, contribuem para o desenvolvimento de novos conceitos, permitem o alinhamento das pesquisas existentes e indicam novas áreas necessárias de pesquisa científica (WEBSTER, WATSON; 2002). Com o intuito de realizar um aprofundamento sobre as incorporações de interações entre projetos em metodologias de seleção de portfólio, analisar os tipos de interdependências empregadas, os principais métodos e ferramentas utilizadas, bem como as contribuições dessas pesquisas, foi elaborada uma RSL. Para o desenvolvimento da RSL, tomou-se como base os estágios propostos por Tranfield et al. (2003). A Figura 1 apresenta os estágios do modelo da RSL.



Fonte: Adaptado de Tranfield et al. (2003)

A seguir são descritos cada um dos estágios segundo Tranfield et al. (2003).

O início do processo de revisão (Fase 0) é marcado pela identificação da necessidade de investigação sobre determinado tema. Após delimitado a área de pesquisa, as próximas fases do Estágio I realizam a definição de como a revisão deve proceder, desde a elaboração da proposta de revisão (Fase 1), determinação das palavras-chave, critérios de inclusão e exclusão e demais informações do protocolo de revisão (Fase 2), para nortear a pesquisa.

No Estágio II, realiza-se a pesquisa dos trabalhos científicos na(s) base(s) de dados escolhida(s) (Fase 3) seguindo as definições do protocolo de revisão e logo após, é efetuado a triagem dos estudos pré-selecionados (Fase 4). Outra etapa apontada como importante é a avaliação da qualidade dos trabalhos (Fase 5). Após a determinação dos trabalhos que serão incluídos na revisão efetua-se a extração dos dados (Fase 6) das informações gerais como título, autores, revistas, ano de publicação, metodologias, dentre outras questões. O estágio é concluído com a síntese dos dados (Fase 7), no qual os trabalhos são lidos e analisados.

O Estágio III contempla a documentação das principais observações dos estudos (Fase 8). Por exemplo análises dos países de origem dos autores, aumento ou declínio no número de artigos publicados e principais contribuições. Finalmente, a última etapa consiste na análise das informações da revisão para geração de contribuições práticas ao meio científico, relatando-se as principais recomendações e evidências encontradas (Fase 9) (TRANFIELD et al., 2003).

Com base nessa metodologia, são apresentados cada um dos estágios da pesquisa.

### **3.1 Estágio I**

#### **3.1.1 Fase 0**

A RSL é motivada pela investigação de estudos científicos relacionados aos conceitos de seleção de portfólio de projetos com interações, com o intuito de avaliar os tipos de interdependências considerados, quais as técnicas/métodos mais utilizadas, entender como o tema é abordado ao longo dos anos e demais aspectos que possam fundamentar o nosso trabalho. Ressalta-se que não foram encontrados nenhuma revisão de literatura com esse objeto de estudo, portanto identificou-se a necessidade de realizar esse levantamento.

#### **3.1.2 Fase 1 e 2**

Essas fases foram compostas pelo planejamento da pesquisa (Fase 1), ocorrendo nela a análise das possíveis bases de dados, as palavras-chave foram testadas em um teste piloto de busca para identificar os termos mais usados e investigou-se quais seriam os critérios que deveriam compor o protocolo de revisão da RSL. Esses aspectos foram incorporados no protocolo de revisão (Fase 2), que é composto pelo objetivo da pesquisa e demais informações importantes que definem o escopo da revisão.

Dentre essas informações, a base de dados escolhida pela para pesquisa foi a *Scopus*, por ser uma das maiores bases de trabalhos científicos. Quanto às palavras-chave, essas foram combinações de: “*portfolio problem*”, “*portfolio decision analysis*”, “*portfolio decision problem*”, “*project portfolio selection*”, “*project selection*”, “*portfolio analysis*”, “*project portfolio*”, combinadas com “*project\**” e “*interaction\**”, “*interdependen\**” ou “*synerg\**”.

Ressalta-se que a palavra-chave “*synergy*” foi incluída em razão de muitos estudos tratarem esse termo como sinônimo de interações/interdependências. Além disso, não foi adicionada “*cannibalization*” porque normalmente ela não é utilizada da mesma forma, bem como quando é abordada, isso ocorre quando os autores usam também “*synergy*”, logo artigos com essa palavra já seriam encontrados.

Os critérios de inclusão dos artigos foram: (a) trabalhos publicados na base de dados da *Scopus*; (b) estudos que foram publicados em revistas científicas, independente do ano de publicação, na língua inglesa e (c) trabalhos que propõem/abordam métodos para a seleção de portfólio com interações entre projetos. Assim, estudos que deixassem de atender pelo menos um desses critérios, foram desconsiderados da presente pesquisa.

## 3.2 Estágio II

### 3.2.1 Fases 3, 4 e 5

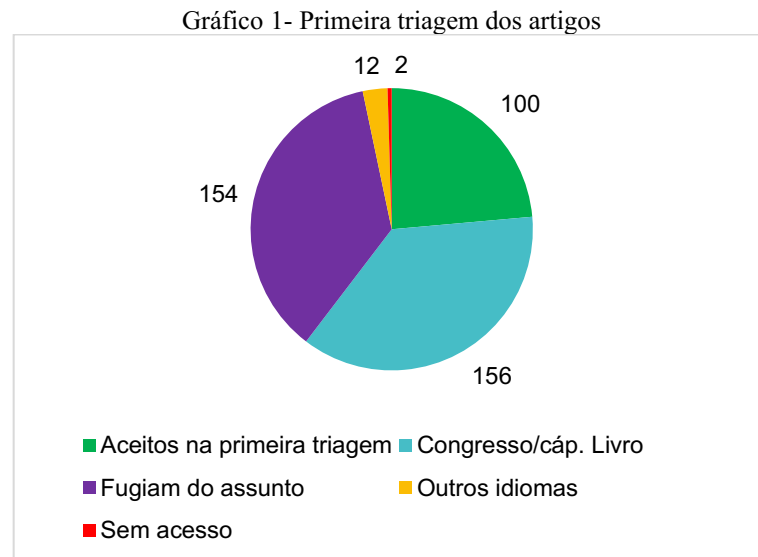
Após definido o escopo, foi realizada a pesquisa das combinações das palavras-chave no *Scopus* (Fase 3) no dia 17 de novembro de 2022, onde foram lidos os títulos e verificado as palavras-chave, e quando necessário, os resumos dos estudos. Em seguida, com base nos critérios de inclusão da RSL, realizou-se a triagem inicial (Fase 4). A Fase 5 contempla a avaliação da qualidade dos trabalhos, por exemplo em relação às métricas como fator de impacto e *citescore* das revistas. Entretanto, não se incorporou nenhum desses aspectos, pois o objetivo da pesquisa foi realizar um aprofundamento de trabalhos com essas temáticas publicados em revistas científicas, com o intuito de englobar a maior quantidade de estudos possíveis.

O total de artigos encontrado foi 424 e o Gráfico 1 apresenta a quantidade de artigos que passaram na primeira triagem, bem como os que fugiram do escopo da pesquisa, sendo esses últimos descartados.

Podemos ver pelo Gráfico 1 que 100 artigos (cerca de 24%) continuaram a ser considerados. Os demais foram descartados em virtude: não ter sido possível o acesso (2



artigos), assim foram descartados pelo critério (a); estudos publicados em congressos ou em capítulos de livros (156 artigos – 37%) ou em outros idiomas que não fossem inglês (12 artigos – 3%), não atendendo dessa forma o critério (b); artigos que de antemão foi possível identificar que não se tratava de seleção de portfólio de projetos com interações (154 artigos – 36%), sendo excluídos devido o critério (c).



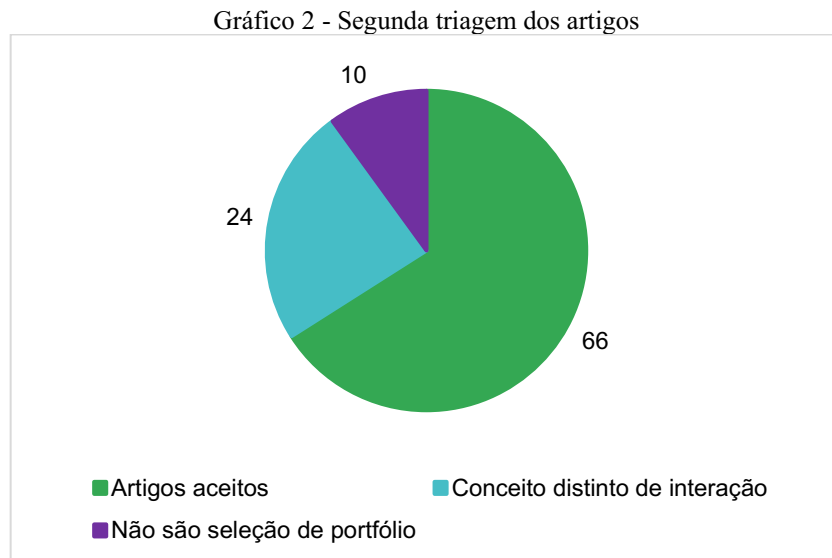
Fonte: Autora (2023)

### 3.2.2 Fases 6 e 7

Na Fase 6, as informações dos trabalhos incluídos na primeira triagem da revisão foram extraídas e adicionadas em uma planilha, dentre elas os nomes dos autores e seus países de origem, revista e o ano de publicação. Já na Fase 7, todos os artigos foram lidos na íntegra e submetidos em uma análise profunda. Também foram registradas informações como a área de aplicação do estudo, o método/ferramenta utilizada, os tipos de interações empregados, dentre outras. Após a leitura, dentre os 100 trabalhos, 34 deles deveriam ser descartados.

Conforme mostrado no Gráfico 2, a quantidade final de artigos da revisão, após a segunda triagem, foi 66 trabalhos, dado que os demais deveriam ser rejeitados por não atenderem o critério de aceitação (c). Foram descartados trabalhos que tinham conceitos diferentes de interações (24 artigos), onde não exploravam as relações de dependência entre os projetos e apenas adicionavam, por exemplo, restrições de exclusão mútua/complementaridade, interações entre critérios ou não deixavam explícitos os tipos de interações; não contribuindo substancialmente para a discussão desse estudo. Ademais, também se desconsiderou os artigos que não tratavam da seleção de portfólio de projetos (10 artigos),

sendo esses sobre gerenciamento de portfólio ou portfólios de investimentos. Com base nas publicações restantes, foram realizadas análises das informações dos artigos, sendo essas apresentadas na próxima fase.



### 3.3 Estágio III

#### 3.3.1 Fase 8

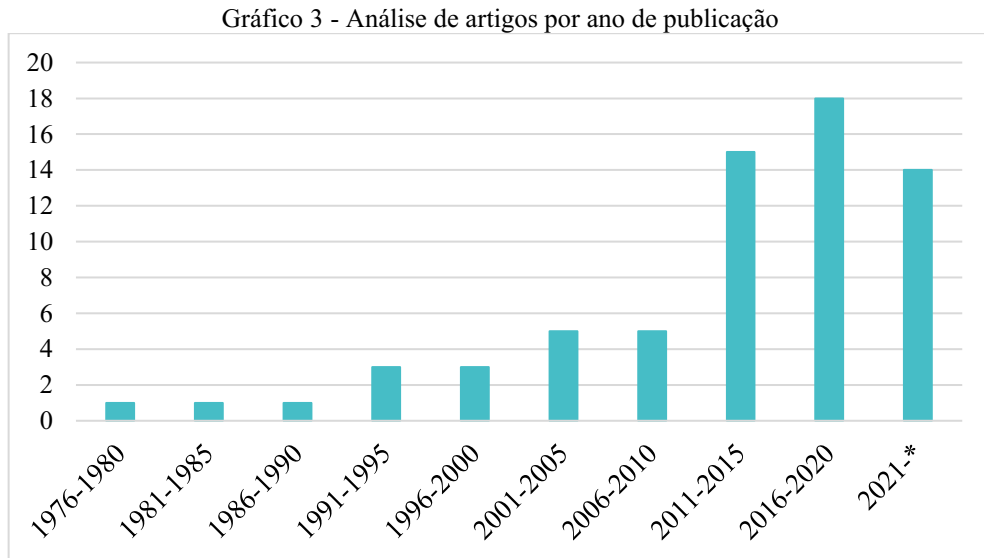
##### 3.3.1.1 Análise dos anos de publicação

Utilizando as principais informações dos 66 artigos, a primeira análise efetuada foi a investigação da quantidade de artigos publicados por ano conforme o Gráfico 3. Os anos dos artigos foram segmentados em faixas de cinco anos, com o intuito de analisar se existe uma crescente na exploração desse tema pela comunidade científica.

Observa-se que nas primeiras três faixas dos artigos incluídos, totalizando 15 anos (1976-1990), foram publicados apenas três artigos. O primeiro foi no ano de 1978, seguindo por um intervalo de seis anos para o próximo trabalho publicado, sendo esse no ano de 1984 e mais dois anos para outro estudo publicado em 1986. Nas próximas faixas, pode-se ver uma pequena tendência de crescimento; 1991-1995 e 1996-2000 contaram com três publicações em cada, cinco artigos entre os anos de 2001-2005 e de 2006-2010.

A partir de 2011-2015 até o final das faixas, é mais perceptível um salto de crescimento no número de artigos, onde em cada faixa a quantidade publicada respectivamente foi de 15,

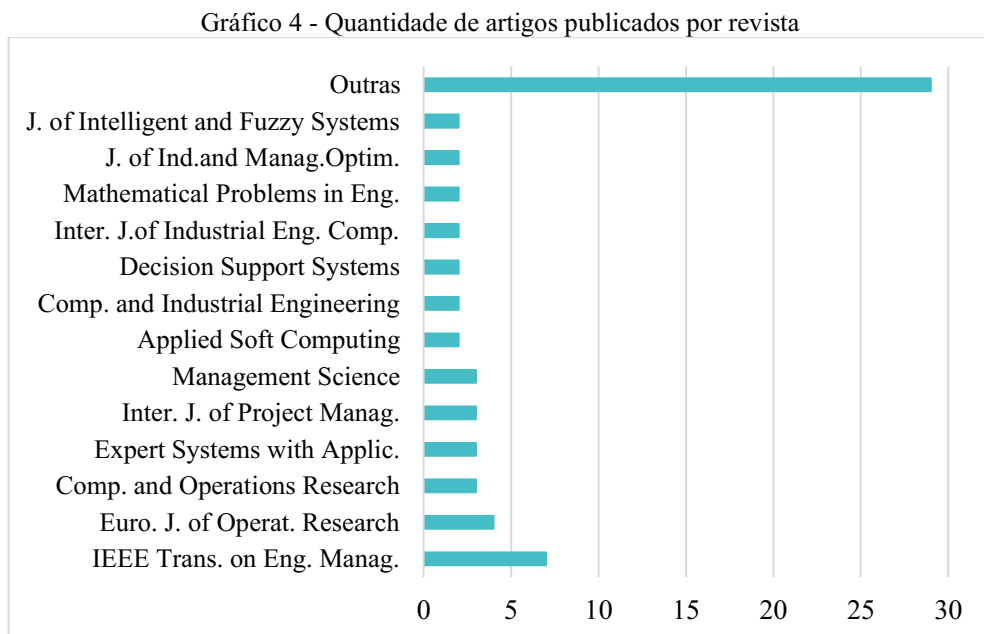
18 (quantidade máxima) e 14 trabalhos. Ressalta-se que ainda pode ocorrer um crescimento na última faixa, visto que o intervalo conta atualmente com apenas os anos de 2021 a 2023.



Fonte: Autora (2023)

### 3.3.1.2 Análise das revistas de publicação

Quanto à distribuição bibliográfica da quantidade de artigos publicados nas revistas, essa análise é apresentada no Gráfico 4.

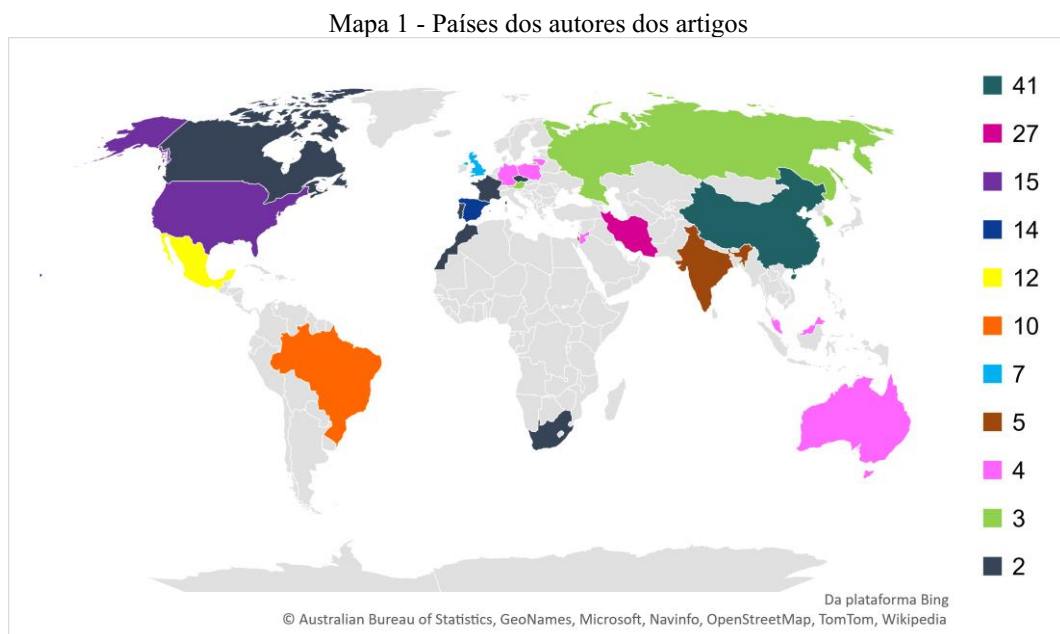


Fonte: Autora (2023)

Com base no Gráfico 4, foi percebido que as revistas com os maiores números de publicações foram respectivamente: *IEEE Transactions on Engineering Management* (7 artigos - 11% das publicações), *European Journal of Operational Research* (4 artigos - 6%), e *Computers and Operations Research*, *Expert Systems with Applications*, *International Journal of Project Management* e *Management Science* (3 artigos - 5% cada). Quanto às revistas com duas publicações, temos *Applied Soft Computing*, *Computers and Industrial Engineering*, *Decision Support Systems*, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, *Mathematical Problems in Engineering*, *Journal of Industrial and Management Optimization* e *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. As demais revistas contaram com a publicação de apenas um artigo cada.

### 3.3.1.3 Análise de nacionalidade

Em relação à nacionalidade dos autores dos artigos dentro do escopo desta pesquisa, o Mapa 1 apresenta essa informação. Destaca-se que o número de autores é significativamente maior do que a quantidade de artigos, já que foram contabilizados todos os contribuintes dos estudos (total de 173 autores).



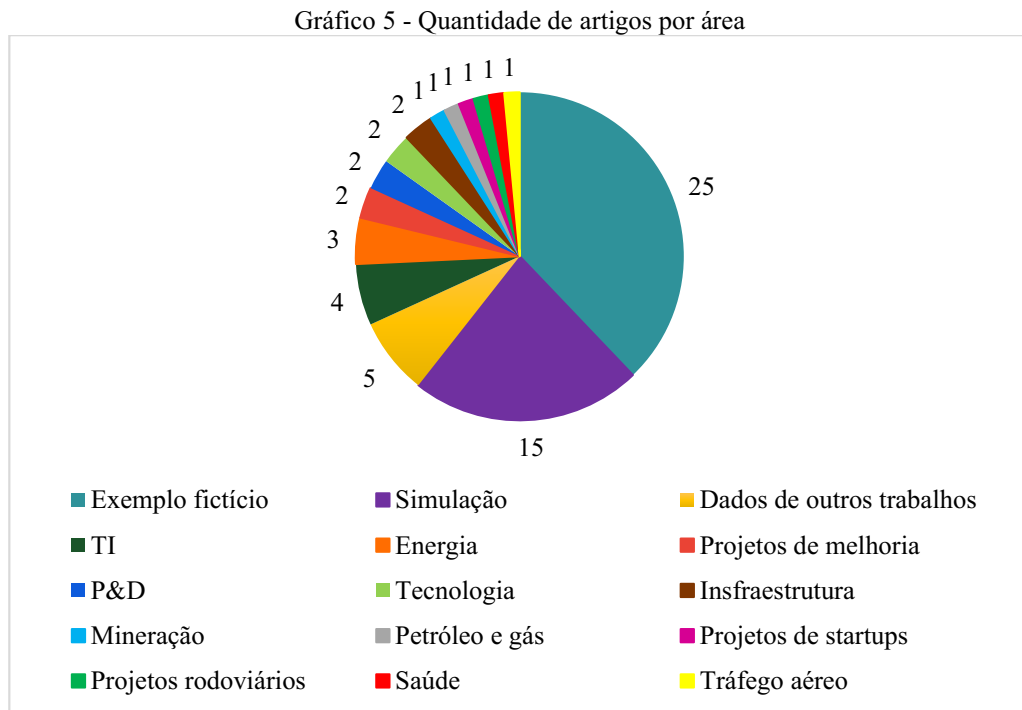
Fonte: Autora (2023)

Foi percebido que a maioria dos artigos presentes na RSL foram respectivamente da China (41 autores), Irã (27 autores), seguido por autores dos Estados Unidos (15 artigos) e

Espanha (14 artigos). Quanto ao nosso país, o Brasil possui 10 autores, divididos em cinco artigos, desta área de pesquisa com trabalhos publicados em revistas presentes no *Scopus*.

#### 3.3.1.4 Análise das áreas dos artigos

Outra análise feita foi sobre quais são os principais cenários de aplicação dos estudos, onde a quantidade de estudos por área é mostrada no Gráfico 5.



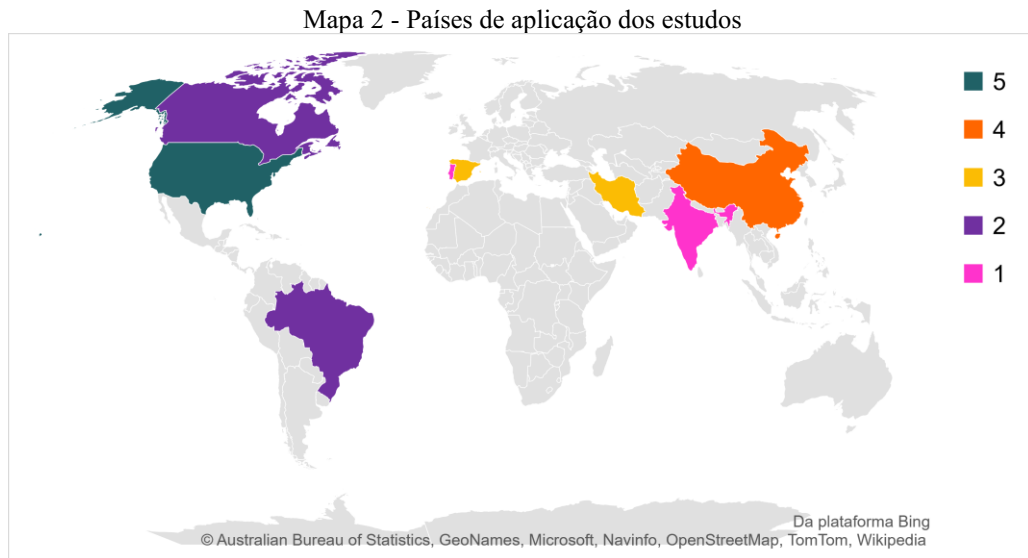
Fonte: Autora (2023)

Pode-se observar que boa parte dos estudos realizam exemplos fictícios (25 artigos – 38%), no qual os autores exemplificam o modelo através do emprego de dados hipotéticos, sem a utilização de dados reais. O segundo maior cenário foi o de simulações (15 artigos – 23% das publicações), ou seja, testes de desempenho do modelo e/ou comparação de desempenho com outros métodos.

Também pode-se citar artigos que optaram por usar dados de outros trabalhos (5 artigos – 8% das publicações). Quanto aos estudos que fizeram aplicações práticas em organizações que tratavam de portfólio, os tipos de projetos mais comuns foram de TI (4 artigos – 6% cada) e Energia (3 artigos – 5%).

#### 3.3.1.5 Análise dos países de aplicação

Como pode ser observado no Gráfico 5, apenas alguns artigos fizeram aplicações práticas de seleção de portfólio (21 artigos), assim investigou-se os países em que foram realizados os estudos de casos desses, conforme mostrado no Mapa 2.



Fonte: Autora (2023)

A maior parte das aplicações foram realizadas nos Estados Unidos (5 aplicações), seguido por China (4 aplicações), Espanha e Irã (3 em cada), Canadá e Brasil (2 em cada), e Índia e Portugal (1 aplicação em cada). Além disso, existiu um estudo em que foi descrito ser aplicado na Europa, sendo esse não plotado devido as configurações da ferramenta não permitir a plotagem de um continente. Porém mesmo essa aplicação não sendo demonstrada no Mapa 2, destaca-se que ele apresenta 21 países, por um artigo ter realizado duas aplicações em países distintos.

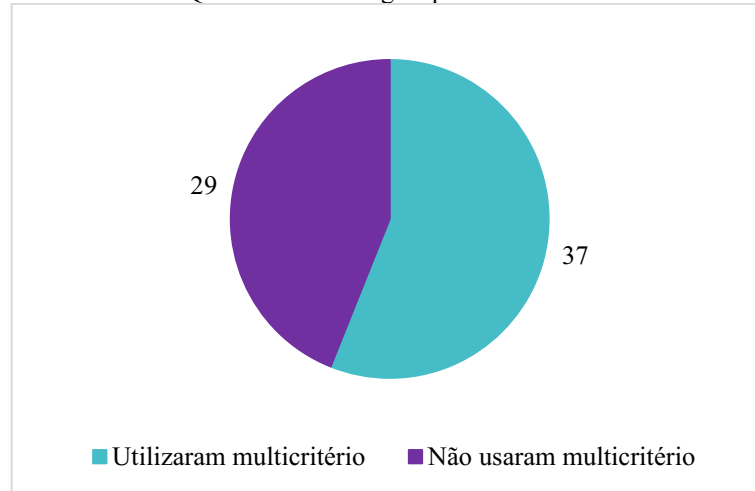
### 3.3.1.6 Análise de aplicação de multicritério

Também foi investigado quantos artigos usaram algum tipo de método multicritério (Gráfico 6).

Dentre os 66 artigos, foi percebido que um pouco menos da metade não possui nenhum método multicritério (29 artigos – 44%). Já os outros 37 estudos (56% das publicações) utilizaram multicritério de alguma forma, dentre os métodos temos o modelo aditivo determinístico, AHP, programação multiobjetivo, PROMETHEE etc.; onde os modelos

multicritérios eram compostos também por outros métodos/ferramentas. A seguir pode ser observado mais sobre esses modelos.

Gráfico 6 - Quantidade de artigos que utilizaram multicritério

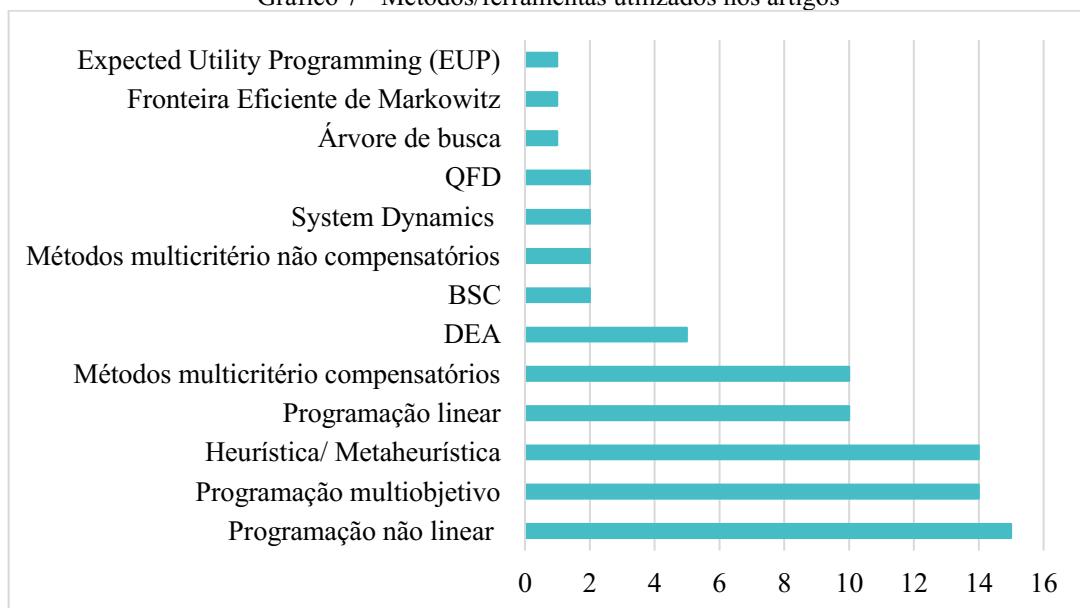


Fonte: Autora (2023)

### 3.3.1.7 Análise das abordagens

Quanto aos métodos e ferramentas mais específicos, o Gráfico 7 apresenta as principais abordagens usadas nas aplicações dos artigos.

Gráfico 7 - Métodos/ferramentas utilizados nos artigos



Fonte: Autora (2023)

Observou-se que a maior parte dos estudos da RSL abordaram algum tipo de método da pesquisa operacional. Além disso, muitos artigos utilizaram mais de uma abordagem, logo eles

podem se enquadrar em mais de uma categoria. Portanto, salienta-se que, em alguns casos, a quantidade de trabalhos que aplicam o método é maior do que o número de artigos descritos na categoria, visto que alguns estudos com o mesmo método podem ter sido retratados em outros agrupamentos. A seguir é descrito, de forma sucinta, uma visão geral sobre cada um dos artigos, sendo estes agrupados com base em aspectos comuns.

O tipo de modelo mais empregado nos estudos foi a programação não linear inteira (15 estudos). Foi percebido que a maioria dos artigos mais antigos presentes na RSL abordavam esse método e muitos desses foram desenvolvidos para o cenário de P&D. Aaker e Tyebjee (1978) desenvolveram um modelo denominado INTERACT, que contém uma estrutura esquemática das entradas do modelo, para permitir a seleção de portfólio de projetos que também reflita a contribuição pertinente às interações. Outros artigos na área de P&D foram: Fox et al. (1984), que avaliaram o impacto das interações de valor presente entre os projetos; Schmidt (1993), que criou um modelo incorporando três tipos de interações entre eles denominando o problema de interação interna combinada; e Dickinson et al. (2001), no qual propuseram um problema de programação inteira não linear de maximização do retorno financeiro do portfólio com interações.

Para projetos de TI, Santhanam e Kyparisis (1996) desenvolveram um modelo de programação não linear com termos polinomiais para adicionar as interdependências de ordem superior na função objetivo e restrições, de forma a maximizar o benefício do portfólio. Klapka e Piños (2002) desenvolveram um SAD com abordagem multicritério híbrida composta por uma função de escalarização especial baseada em ponto de referência modificada e uma abordagem de interações.

Quanto a utilização de variáveis *fuzzy*, Karimi et al. (2022) desenvolveram um modelo não linear de otimização estocástico, resolvendo o problema para vários cenários com base em níveis de probabilidade. Outro modelo é o de Kuchta (2001), que teve como objetivo maximizar o VPL (Valor Presente Líquido) e os autores também utilizaram variáveis *fuzzy* para a seleção de projetos com interações. Já em Hall et al. (2015), foi proposto um estudo de seleção de portfólio por meio de modelo de otimização no cenário da incerteza e de interações entre projetos em cenários simulados.

Pode-se citar também dois artigos que fizeram a proposição de modelos de programação inteira binária com restrições quadráticas com o intuito de selecionar os projetos mais promissores para compor o portfólio. No modelo de Carraway e Schmidt (1991) são determinados estágios adicionais para os projetos selecionados. Já Meier et al. (2017) desenvolveram um SAD com abordagem processual, que identifica e avalia as interações



potenciais dos recursos entre projetos e em seguida, auxilia na definição se essas devem ser exploradas ou podem ser descartadas, uma vez que um número muito grande de interações gera um esforço computacional maior.

Também temos, Canbaz e Marle (2016), que além de considerar as interações entre projetos, desenvolveram um modelo de programação não linear para a determinação do portfólio ótimo que atenda os objetivos estratégicos das organizações. Com base nesse mesmo estudo, Albano et al. (2021) aperfeiçoam o modelo proposto. Além de avaliar o desempenho em relação ao alinhamento estratégico, maximização de valor e equilíbrio, os autores adicionam a dimensão preparação futura e aplicaram em dois casos práticos em empresas com realidades distintas.

Seguindo com os métodos e ferramentas empregados nos artigos, com 14 artigos temos programação multiobjetivo. Esses autores focaram na utilização de modelos multicritérios em seus estudos, dado que os projetos escolhidos para compor o portfólio podem afetar diversos aspectos e objetivos empresariais distintos.

Para portfólios de P&D, Stummer e Heidenberger (2003) desenvolveram um modelo que propõe uma triagem dos melhores projetos para reduzir o número de portfólios, seguido por programação multiobjetivo para determinar as soluções Pareto-ótimo e finaliza-se com a escolha do portfólio mais atraente. Também para P&D, Bhattacharyya et al. (2011) desenvolveram um modelo *fuzzy* de programação multiobjetivo de maximização de resultado e a minimização do custo e risco do portfólio; sendo que além de determinar o portfólio, almejavam a determinação de quais períodos os projetos selecionados deveriam ser implementados.

Ademais, modelos em outros contextos foram formulados para outros contextos, como projetos de Lean Six Sigma em Kalashnikov et al. (2017), sendo a função objetivo composta pela maximização de benefício e minimização da dificuldade de execução dos projetos. Santhanam e Kyparisis (1995) desenvolveram um modelo de programação por metas, onde os objetivos foram maximizar o benefício, minimizar o risco e os custos de portfólios de TI.

Percebeu-se também o uso de variáveis do tipo *fuzzy* em vários desses artigos, sendo usadas com o intuito de incorporar incertezas nos modelos multiobjetivos. Liesiö et al. (2008) aborda análises custo-benefício dos projetos e Zolfaghari et al. (2021) contempla a determinação de quais períodos os projetos devem ser realizados. Também no contexto multiobjetivo com incertezas e interações, Pérez et al (2018) tiveram em mente as relações de ordem de tempo entre os projetos, empregam variáveis *fuzzy* de números triangulares no modelo matemático e analisam faixas de níveis de confiança dos portfólios ótimos.

Alvarez-García; Fernández-Castro (2018) desenvolvem um modelo de programação multiobjetivo *fuzzy* interativo, baseado na preferência de um grupo de especialistas para a determinação do portfólio de projetos de investimentos. Outro modelo que trata de seleção de projetos com interdependências sob incertezas é apresentado em Tavana et al. (2020), onde inicialmente aplicam o *fuzzy* TOPSIS para avaliar os projetos e em seguida, formulam e resolvem o modelo biobjetivo para projetos de TI de uma empresa americana.

Utilizando *Goal Programming* (GP), juntamente com *Analytic Network Process*, Lee e Kim (2000) propõem uma abordagem híbrida para determinar o portfólio de projetos no contexto de projetos de TI com interdependência entre critérios e projetos. Os mesmos autores tomaram como base o modelo anterior e desenvolveram um novo estudo em Lee e Kim (2001) para reduzir as desvantagens da programação por metas, devido que os objetivos e prioridades devem ser definidos a priori. O modelo é bastante semelhante, entretanto na etapa inicial é usado o método Delphi para definir os múltiplos objetivos e os seus valores desejados com base nas opiniões de um grupo de gestores.

Outro artigo de GP foi Heydari et al. (2016), que formularam um modelo para maximizar o lucro total dos projetos e minimizar o risco do portfólio para determinar os projetos com interações e em quais períodos esses devem ser implantados. Também pode-se citar Zhai et al. (2021), que criaram um modelo de *Multichoice Goal Programming* para a determinação de um portfólio de projetos com interações de segundo ou terceiro grau.

Outra abordagem bastante vista na RSL foi o emprego de heurísticas e de metaheurísticas (14 artigos) para a solução do problema de seleção de portfólio. Em problemas com centenas de projetos candidatos, critérios de avaliação com funções não lineares, diversos tipos de recursos e interdependências de segunda, terceira ou maior ordem entre os projetos, alguns autores defendem o uso desses métodos. Eles são aplicados pois, as soluções exatas exigem um maior esforço computacional, bem como um tempo de processamento mais elevado para a análise de todas as interações entre os projetos e as combinações do portfólio.

A exemplo desse ponto, os resultados dos testes simulados de Durbach et al. (2020) demonstraram que o desempenho das heurísticas analisadas depende do número de interações entre os projetos, e que as de Valor Adicionado e Valor Unitário com Sinergia foram as que proporcionaram mais portfólios competitivos quando existe a inviabilidade da avaliação completa das interações. Outro trabalho foi o de Hass e Bekhor (2016), que desenvolveram um modelo matemático, resolvido por uma heurística no contexto de seleção de portfólio de projetos de transporte de uma rede rodoviária.

Um algoritmo bastante explorado entre os trabalhos da RSL foi o *Genetic Algorithm* (GA). É demonstrado em Yu et al. (2012) a eficiência desse método na presença de muitos projetos. Já Shakhisi-Niaei et al. (2015) se destacaram pela incorporação do *Data Envelopment Analysis* (DEA) juntamente com GA em um contexto multicritério e realizaram a comparação da solução do modelo em relação a métodos exatos, sendo que o modelo apresentou resultados mais eficientes para conjuntos maiores de projetos. Outra abordagem híbrida pode ser vista em Beseiso e Kumar (2021), que além de buscarem resolver a questão das interações e incertezas, também propuseram uma etapa de avaliação dos critérios de seleção e usaram a *fuzzy Quality Function Deployment* (QFD) e GA. Afanasyev et al. 2021 desenvolveram um modelo de programação linear, resolvido por GA, onde incorporam incertezas com base na *Gray Theory* e com função objetiva baseada no método MAUT.

A seleção de portfólio de P&D também foi abordada em artigos com metaheurísticas. Abbasi et al. (2014) propõem um o modelo matemático que é resolvido pela metaheurística da Entropia Cruzada. Já Abbasi et al. (2020) desenvolveram um modelo com critérios de seleção baseados no *Balanced Score Card* (BSC), solucionado pelas metaheurísticas *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* e *Non Dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II). Outro artigo com NSGA-II, porém para projetos de energia, é Wu et al. (2019). Eles empregaram *fuzzy AHP* e essa metaheurística para integrar no estudo incertezas, interações entre projetos e alinhamento dos objetivos estratégicos.

Alguns autores desenvolveram algoritmos metaheurísticos, como é o caso de Carazo et al. (2010), que formularam um denominado *Scatter Search for Project Portfolio Selection* (SS-PPS) para cenários com múltiplos objetivos e que permitia também a determinação de quais períodos os projetos deveriam ser desenvolvidos. Já em Carazo et al. (2012), o modelo foi expandido para tomada de decisão em grupo e adicionaram no SAD do SS-PPS um módulo para esse tipo de decisão.

Ademais, Cruz et al. (2014) desenvolveram um algoritmo metaheurístico denominado *Non-Outranked Ant Colony Optimization*, que realiza a otimização por meio de uma colônia de formigas, seus feromônios para aprendizagem para futuras gerações e busca de vizinhança variável para as melhores soluções. Huang et al. (2022) criaram um modelo com os objetivos de maximização do VPL e minimização do risco do portfólio, onde são usadas e avaliada a eficiência das metaheurísticas *Multi-Objective Modified Binary Jaya* e a *Multi-Objective Modified Binary Rao*.

Seguindo com as abordagens, 10 artigos utilizaram programação linear. No âmbito de P&D, o estudo de Czajkowski e Jones (1986) inicialmente segmenta os projetos candidatos em

dois grupos (prioritários e os que são dominados pelo primeiro conjunto) para que os gestores possam se concentrar em menos projetos para realizar a escolha do portfólio de acordo com o nível de orçamento. Na mesma área, Ghassemi e Amalnick (2018), além de determinar o portfólio de projetos P&D, elaboraram um cronograma de implantação desses no horizonte de planejamento da empresa.

Liu e Liu (2017) propuseram um método de otimização credibilística, desenvolvendo um modelo de programação linear composto pela análise de retornos totais do portfólio, a limitação de recursos humanos e variáveis *fuzzy*. Outro estudo que tratou de interdependências e incertezas foi Takami et al. (2018), usando variáveis *fuzzy* para quantificar as pontuações dos projetos. Wang et al. (2023) também elaboraram um modelo para seleção de portfólio de projetos com incertezas, possuindo o objetivo de maximizar a utilidade estratégica do portfólio.

Pode citar também Pendharkar (2014), que propôs dois modelos para seleção de portfólio, sendo que no caso de existir interações entre os projetos, é recomendado um modelo de programação inteira específico para resolver o problema. Fernandes e Valdiviezo (1997) desenvolveram um estudo em que o valor do portfólio vai sendo ajustado até que o problema de minimização de risco se tornar viável. Grushka-Cockayne et al. (2008) formularam um modelo de programação linear para a seleção de portfólio de projetos de gerenciamento de tráfego aéreo, gerando todas as combinações viáveis e realizando a ordenação dos portfólios por um método multicritério.

Alguns artigos tinham intuito de realizar além da seleção de portfólio de projetos com interações. Li et al. (2016) integraram a possibilidade de divisão da execução dos projetos em partes e tinham como objetivo maximizar o VPL do portfólio. Arratia-Martinez et al. (2021) buscaram também definir quando os projetos devem ser financiados e executados, obedecendo restrições de precedência e disponibilidade de recursos renováveis e não renováveis.

Voltando para o contexto multicritério, pode-se citar alguns estudos que empregaram métodos multicritério para racionalidade compensatória (10 estudos). Dentre eles, Wei et al. (2020), que construíram uma rede de co-citação para a determinação do grau de interação entre os projetos, obtendo soluções não dominadas presentes no conjunto de Pareto e as classificaram pelo TOPSIS. A abordagem de Delouyi et al. (2021) engloba o método *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), preferências de um grupo de decisores e as interdependências são adicionadas na função objetivo e nas restrições do modelo de programação não linear. Já Benaija e Kjiri (2015) propõem um modelo híbrido de apoio às estratégias da organização baseado em valor financeiro, riscos e interações entre projetos, aplicando um método multicritério de ponderação.

Tomando como base o MACBETH, Lourenço et al. (2012) propõem o sistema de apoio à decisão denominado *Portfolio Robustness Evaluation* (PROBE) para a seleção multicritério de portfólio com interações. O modelo multicritério composto por restrições de interdependências efetua a seleção por meio da abordagem de otimização e encontra as soluções pela abordagem de priorização, caso a solução seja eficiente convexa. Já Almeida e Duarte (2011) utilizaram um modelo de programação não linear inteira com a função objetivo composta por uma função de agregação aditiva, incorporando também na função a contribuição adicional proveniente da interação entre os projetos quando estes estão inseridos no portfólio. Lopes e De Almeida (2015) criaram um modelo de avaliação e seleção para projetos de exploração e produção de petróleo e gás, empregando multiobjetivos e aspectos estocásticos por meio da utilização do MAUT e de um modelo do problema da mochila.

Já em cenário multicritério com métodos não compensatórios (2 artigos), Wu et al. (2018) produziram um *framework* multicritério *fuzzy* composto pelo PROMETHEE II para classificar as alternativas e o algoritmo NSGA-II para seleção de portfólio de projetos fotovoltaicos com interações. Para projetos de infraestrutura de transporte, Iniestra e Gutiérrez (2009), formularam um modelo multiobjetivo sendo dividido em fases: inicialmente são identificadas as soluções de Pareto, depois essas são filtradas em relação aos *knee points* e por último o portfólio de projetos é definido por meio do ELECTRE III.

Alguns autores também buscaram integrar no estudo os temas de interações entre projetos e DEA (4 artigos). Dentre eles, em Eilat et al. (2006) foi desenvolvido um modelo híbrido, também composto por BSC, com objetivos de eficácia, eficiência e equilíbrio para reduzir a quantidade de portfólios candidatos e assim apresentar os melhores portfólios. Ghapanchi et al. (2012) e Jafarzadeh et al. (2018), esse último também usando QFD, analisaram incertezas por meio de variáveis do tipo *fuzzy* para a determinação de portfólios de projetos de TI. O modelo de Ebnerasoul et al. (2022) buscou determinar o portfólio mais eficiente abrangendo os objetivos de maximização da saída e minimização do risco do portfólio.

Os demais estudos aplicaram métodos diferentes das categorias anteriores. Vetschera e Almeida (2021), que desenvolveram um modelo de seleção de portfólio de projetos com interações por meio de cálculo de limites no método *search-tree*, podendo as funções de agregação da função objetivo e/ou das restrições dos recursos serem não aditivas. Além desse, Cho e Shaw (2013) propõem um modelo para a seleção de projetos de TI que possui como objetivo o equilíbrio entre o retorno e o risco do portfólio, adicionando também as interdependências entre os projetos e usando o modelo de Fronteira Eficiente de Markowitz.

Já Pour et al. (2013), criaram um modelo denominado *Expected Utility Programming* para tratar dos cenários de incerteza presentes e as possíveis consequências da implementação dos projetos do portfólio com interações. Bai et al. (2022) utilizaram *System Dynamics* (SD) para analisar o impacto que os portfólios viáveis podem trazer para as estratégias da empresa. Para isso, inicialmente fazem uma triagem dos projetos inviáveis e geram todos os portfólios viáveis com base na limitação de recursos, e seguida os valores das funções dos projetos são avaliados. Também com SD, Ma et al. 2022 criaram um modelo para decidir quais os projetos candidatos que deveriam ser adicionados no portfólio em andamento da instituição, sendo que são incorporadas as interações entre os novos projetos e com os projetos do portfólio.

### 3.3.1.8 Análise das interações

Por meio da investigação dos tipos de interações abordados, foram identificados alguns tipos de nomenclaturas e definições tratadas pelos pesquisadores. Alguns autores preferem utilizar termos em geral, onde um bastante empregado foi o de sinergia, que se refere às interdependências que trazem benefícios positivos entre os projetos e geram um maior valor ao portfólio quanto comparado a soma individual de cada projeto (CANBAZ; MARLE, 2016). Quanto a canibalização, é relacionada a redução do retorno do portfólio quando dois projetos com interações desse tipo são adicionados, gerando assim um impacto negativo (LIU, LIU; 2017).

Alguns autores preferem ser mais específicos e delimitar a atuação da interação. As definições das interdependências entre recursos, técnica e de efeito foram inicialmente abordadas por Aaker e Tybjee (1978) e muitos autores nos anos seguintes usaram esses conceitos nos seus artigos.

Interações de recursos ou custos ocorrem quando os consumos totais dos recursos não podem ser determinados pela soma do consumo de cada projeto, visto que alguns projetos compartilham recursos, como instalações, equipamentos, recursos humanos etc. Interações de resultado, probabilidade ou técnica são consideradas quando a probabilidade de sucesso de um projeto depende do resultado de sucesso ou fracasso de um ou mais projetos presentes no portfólio. Por exemplo, projetos de medicamentos aplicados juntos em um tratamento podem aumentar o sucesso um do outro. Interações de benefício, recompensa ou efeito afetam positivamente ou negativamente o ganho global do portfólio, dado que os projetos podem ser complementares ou competitivos. A exemplo disso, o lançamento de um novo software pode aumentar as vendas de computadores da empresa (efeito tipo sinérgico), em contrapartida, a

introdução no mercado de produtos substitutos ocasiona que o benefício combinado seja menor do que a venda esperada individual de cada produto (efeito tipo canibalização) (AAKER; TYBJEE, 1978; FOX et al., 1984; SCHMIDT, 1993; EILAT et al., 2006).

Outros autores abordam tipos mais específicos de interações. Bhattacharyya et al. (2011) descrevem que a interdependência técnica ocorre quando existem tecnologias compartilhadas entre os projetos. Wei et al. (2020) considera um tipo semelhante de relação, mas descreve essa como sendo uma interação de tecnologia. Já Arratia-Martinez et al. (2021) usam o termo de sinergias técnicas para interações que essas objetivam equilibrar o número de interdependências ativas no portfólio por período.

Lopes e Almeida (2015) trazem três tipos de sinergia: de concepção de um projeto, sendo esse originada por causa dos benefícios do escopo do projetista e os ganhos de escala provenientes da elaboração conjunta dos projetos; fiscal, relacionadas as implicações contratuais e informação, sendo essas devido o compartilhamento de informações. Ma et al. (2022) também abordam sinergias de informação (nível de informação compartilhada e trocada entre os projetos), tecnologia (relacionada ao uso de mesmas tecnologias nos projetos) e de função (refere-se ao grau de sobreposição das funções dos projetos).

Além outras de interdependências mais comuns na literatura, Delouyi et al. (2021) também abordam sobre relações ambientais e sociais entre os projetos. Zhai et al. (2021) descrevem sobre as interações de efeito, sendo que podem ocorrer em diferentes dimensões e é uma relação direcional. Ebnerasoul et al. (2022) abordam sobre interdependência de rede, estando ela relacionada com o impacto de falha entre os projetos.

Outro tipo de interação diferente foi descrito em Wu et al. (2019), que definiram o conceito de *Strategic Interaction Coefficient*, onde esse descreve o grau de interação entre dois projetos em uma estratégia empresarial específica. Wang et al. (2023) descreve sobre sinergias estratégicas, sendo essas interações que podem contribuir para a estratégia da organização quando certos projetos são adicionados juntos ao portfólio. Takami et al. (2018) também abordam sobre interações de alinhamento estratégico no seu exemplo numérico.

Com base nessas definições, foi elaborada a Tabela 1, na qual demonstra qual(is) o (s) tipo(s) de interação(ões) foi(ram) explorado(s) em cada artigo analisado na RSL. Quando os autores apenas relatavam que as interações poderiam ser positivas ou negativas, não especificando onde elas ocorriam, elas foram alocadas em “Sinergia” e “Canibalização”. Ressalta-se também que para os artigos que abordavam outros nomes, porém em essência possuíam as mesmas definições de “Recursos”, “Benefício” e “Resultado”, utilizou-se essas categorias. As demais definições foram alocadas na categoria “Outros”.

Tabela 1 - Tipos de interações abordadas em cada artigo

<b>Autores</b>	<b>Sinergia</b>	<b>Canibalização</b>	<b>Recursos</b>	<b>Benefício</b>	<b>Resultado</b>	<b>Outros</b>
Aaker; Tyebjee (1978)			X	X	X	
Fox et al. (1984)			X	X	X	
Czajkowski; Jones (1986)				X	X	
Carraway; Schmidt (1991)			X	X		
Schmidt (1993)			X	X	X	
Santhanam; Kyparisis (1995)			X	X		
Santhanam; Kyparisis (1996)			X	X		
Fernandes; Valdiviezo (1997)			X			
Lee; Kim (2000)			X	X	X	
Dickinson et al. (2001)			X	X		
Kuchta (2001)			X	X	X	
Lee; Kim (2001)			X	X	X	
Klapka; Piños (2002)			X	X		
Stummer; Heidenberger (2003)	X	X				
Eilat et al. (2006)			X	X	X	
Grushka-Cockayne et al. (2008)				X		
Liesjö et al. (2008)			X	X		
Iniestra; Gutiérrez (2009)	X	X				
Carazo et al. (2010)	X	X				
Almeida; Duarte (2011)	X	X				
Bhattacharyya et al. (2011)			X	X	X	X
Carazo et al. (2012)	X	X				
Ghapanchi et al. (2012)			X	X	X	
Lourenço et al. (2012)			X	X		
Yu et al. (2012)	X	X				
Cho; Shaw (2013)			X	X		
Pour et al. (2013)			X	X		
Abbassi et al. (2014)			X			
Cruz et al. (2014)	X	X				
Pendharkar (2014)	X	X				
Benaija; Kjiri (2015)			X			
Hall et al. (2015)	X	X				
Lopes; de Almeida (2015)						X
Shakhsi-Niaei et al. (2015)	X	X				
Canbaz; Marle (2016)			X	X	X	
Haas; Bekhor (2016)				X		
Heydari et al. (2016)			X	X	X	



Li et al. (2016)	x	x				
Kalashnikov et al. (2017)				x		
Liu; Liu (2017)	x	x				
Meier et al. (2017)			x			
Alvarez-García; Fernández-Castro (2018)	x	x				
Ghassemi; Amalnick (2018)			x	x	x	
Jafarzadeh et al. (2018)			x	x	x	
Takami et al. (2018)				x	x	x
Pérez et al (2018)	x	x				
Wu et al. (2018)			x	x		
Wu et al. (2019)						x
Abbasi et al. (2020)			x			
Durbach et al. (2020)			x	x		
Tavana et al. (2020)	x	x				
Wei et al. (2020)						x
Afanasyev et al. (2021)				x		
Albano et al. (2021)			x	x	x	
Arratia-Martinez et al. (2021)			x	x		x
Beseiso; Kumar (2021)	x	x				
Delouyi et al. (2021)			x	x		x
Vetschera; Almeida (2021)	x	x				
Zhai et al. (2021)						x
Zolfaghari et al. (2021)	x	x				
Bai et al. (2022)	x	x				
Ebnerasoul et al. (2022)						x
Huang et al. (2022)	x	x				
Karimi et al. (2022)			x	x		
Ma et al. (2022)			x			x
Wang et al. (2023)			x	x	x	x

Fonte: Autora (2023)

Dentre as relações, os tipos mais presentes nos artigos analisados foi as relações de “Recurso” (35 artigos), onde pode ser explicada devido a seleção de portfólio estar relacionada com a necessidade de a empresa priorizar projetos em função dos recursos serem limitados; e “Benefício” (35 artigos), sendo que por estar relacionada com os ganhos obtidos dos projetos e geralmente o objetivo do problema é a maximização do valor do portfólio, faz sentido o uso desse tipo de relação. Em seguida, temos respectivamente, os tipos de “Sinergia” e “Canibalização” (20 artigos cada), “Resultado” (17 artigos) e “Outros” (11 artigo).

Além disso, foi percebido que a maioria dos artigos abordaram mais de um tipo de interação. Também se observou que os artigos mais antigos consideravam os mesmos tipos de interações “Recurso”, “Benefício” e “Resultado”, possivelmente por se basearem nas definições de Aaker e Tyebjee (1978). Foi observado também nos artigos selecionados na RSL que os autores preferiram considerar as interações em termos gerais como “Sinergia” e “Canibalização” a partir de 2003.

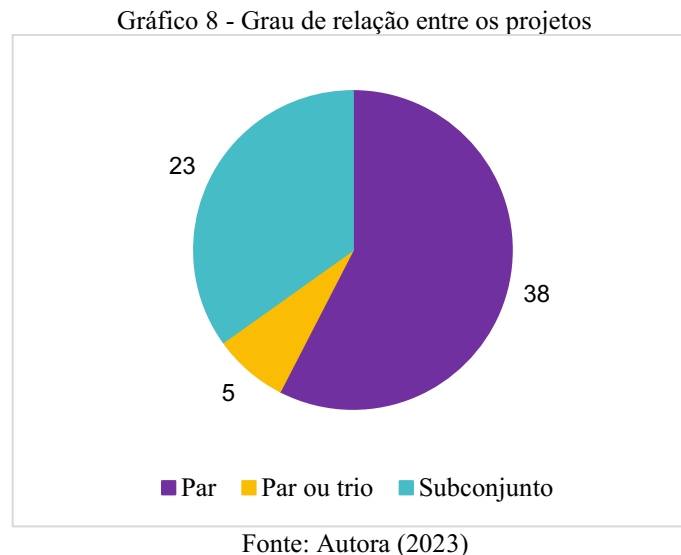
Quanto às principais discussões dos artigos, foi notado que os autores da RSL recomendaram fortemente a utilização de interações para a seleção mais condizente com a realidade e para o aproveitamento das oportunidades provenientes das relações entre os projetos (CANBAZ; MARLE, 2016). Dentre eles, Yu et al. (2012) e Delouyi et al. (2021) descreveram que a adição das interações no modelo impacta nos projetos que são selecionados e consequentemente, no valor final do portfólio; logo defendem que são muito importantes durante a tomada de decisão. Corroborando com a temática, relata-se também a importância de os gerentes de projetos analisarem as interdependências entre os projetos para garantir resultados realistas (WU et al., 2019).

A existência inerente e o impacto das interações também são apoiados por evidências práticas. Essa questão é debatida em Fox et al. (1984), que demonstraram que o portfólio ótimo mudou dos projetos 1 e 3, para os projetos 1, 4 e 5, com um crescimento de valor de 28088,79 para 31868,46 por causa das interações entre os projetos selecionados. Outros autores também analisaram o impacto das interações na seleção de portfólio de projetos. Wu et al. (2018) efetuaram uma análise comparativa dos resultados do seu estudo em três cenários: ignorando incertezas e interações, ignorando apenas as incertezas, ignorando apenas as interações. Uma das conclusões dos autores foi que os valores dos objetivos são maiores com as interações, demonstrando assim a vantagem de empregar esse parâmetro na seleção de portfólio de projetos.

Com comparações expressas quantitativamente, Hall et al. (2015) testou cenários simulados onde, retirando-se a interação entre os projetos, perceberam que 38% das vezes o objetivo esperado não pode ser alcançado quando esse aspecto foi ignorado. Também pode-se citar os estudos de Canbaz e Marle (2016) e Ghassemi e Amalnick (2018), no qual quando os autores testaram os resultados do seu modelo sem as interações entre os projetos, o valor da função objetivo reduziu respectivamente cerca de 17% e 30%.

### *3.3.1.9 Análise do grau de relação entre projetos*

Além do tipo de interação, também analisamos a forma como essas interdependências eram consideradas dentro do portfólio conforme o Gráfico 8, se era quantificado uma dependência entre pares (ou seja, relação entre dois projetos), pares ou trios (relações entre até três projetos), subgrupos (grau entre no mínimo dois projetos até subconjuntos dentro o conjunto de alternativas disponíveis).



Pelo Gráfico 8, pode ser identificado que a maioria das relações eram entre pares de projetos (38 artigos – 57%). Os outros tipos de relações foram de pares/trios de alternativas (5 artigos – 8%) e subconjuntos (23 artigos – 35%).

### 3.3.2 Fase 9

Recapitulando os principais pontos observados na Revisão Sistemática de Literatura, foi notado que as publicações ao longo dos anos não são uniformes e existe uma crescente no interesse dessa área pelos pesquisadores, principalmente nos últimos 13 anos. Essa questão pode estar relacionada com o avanço computacional, dado que também foi verificado que muitos artigos utilizaram modelos de pesquisa operacional e como a seleção de portfólio é uma tarefa complexa, o avanço de processamento e memória dos computadores torna o processo mais eficiente e rápido computacionalmente.

Outro aspecto observado foi que a principal categoria das revistas, segundo o *Scopus*, com publicações da RSL não foi na área de gerenciamento de projetos, mas sim é bem segmentada nas áreas de modelagem matemática, engenharia, ciência da computação e tomada de decisão, contando com poucas revistas mais voltadas para projetos. Isso pode ser devido à

dificuldade dos gerentes de portfólio/projetos em estabelecer métodos estruturados para a seleção de portfólio quando as interações estão presentes no problema, assim essa área está sendo mais explorada através do aspecto matemático e com ferramentas computacionais.

Além disso, especialmente no Brasil, apenas cinco trabalhos com autores brasileiros foram publicados na *Scopus*, e com a crescente de estudos nessa temática, essa pode ser uma área interessante para mais autores nacionais abordarem. Outra questão é que a maioria dos trabalhos da RSL elaboraram cenários simulados ou exemplos fictícios, logo destaca-se também a necessidade de mais estudos em casos reais, para auxiliar de forma prática as empresas. Ademais, mais da metade dos artigos abordarem grau de pares de interações pode ser explicado pela maior facilidade de comparação em pares do que maior grau, bem como para não aumentar a complexidade do modelo.

Observou-se também que existem diversos tipos de abordagens e modelos, porém programação não linear, programação multiobjetivo e heurísticas/metaheurísticas foram predominantes nos artigos. Quanto ao emprego de multicritério, um pouco mais da metade dos artigos abordou modelos multicritérios. Dessa forma, cenários relevantes a serem explorados são a aplicação de métodos menos usuais inseridos em modelos multicritérios, para trazer melhorias com métodos inovadores, respeitando o aspecto multiobjetivo presente nos problemas de portfólio.

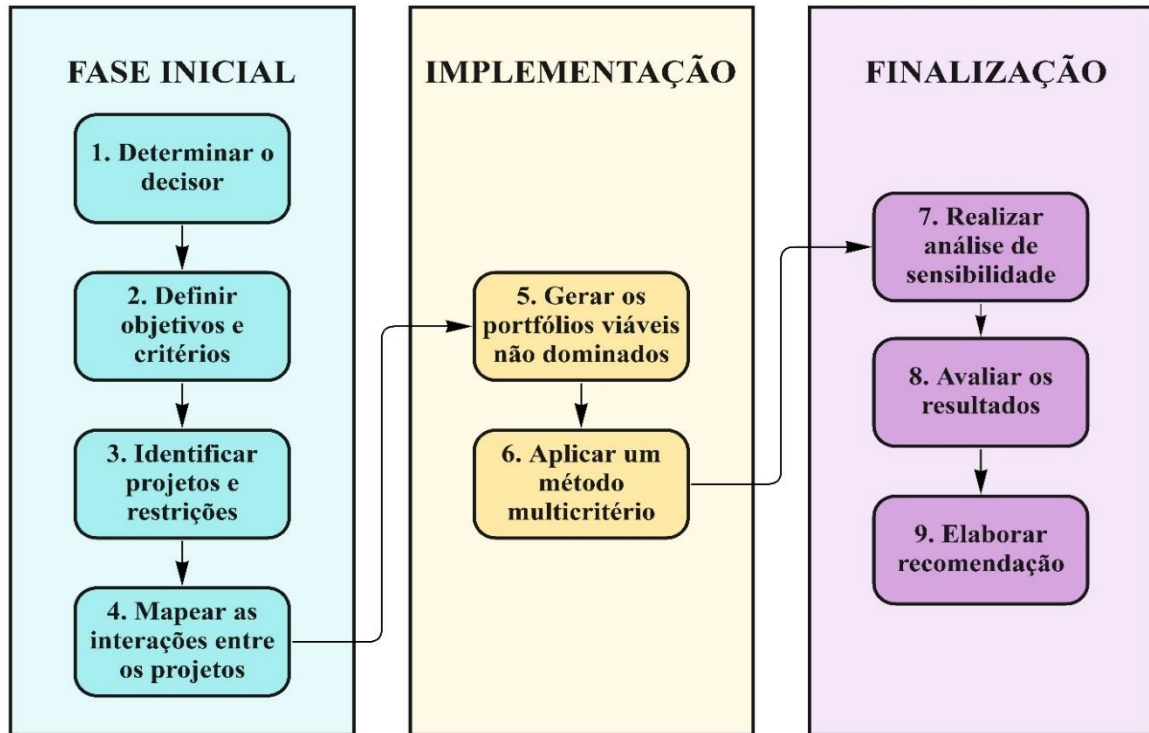
A principal contribuição da revisão foi o esclarecimento da importância e o impacto que as interações acarretam para a seleção de portfólio e, conseqüentemente, para os resultados das organizações. Além do que, a RSL permitiu um aprofundamento sobre os conceitos relacionados aos tipos de interações mais mencionados na literatura, a construção de uma tabela que apresenta como cada autor abordou os tipos de interdependência e a identificação dos diferentes graus das relações que podem existir entre os projetos.

Em razão desses pontos e com base no embasamento teórico fornecido pelo referencial teórico e a RSL, essa pesquisa propõe o desenvolvimento de um modelo de seleção de portfólio que incorpora interações entre projetos e multicritério. Portanto, conforme é descrito a seguir no Capítulo 4, o modelo elaborado é composto pelo método de Árvore de Busca, juntamente com um método multicritério. Quanto as relações de interação, conforme as definições descritas na RSL, são considerados relações de sinergia e canibalização, com grau de relação entre pares de projetos. Ademais, para demonstrar o funcionamento do modelo e gerar contribuições para uma empresa real, também é realizado um estudo de caso descrito no Capítulo 6.

## 4 MODELO

Esse capítulo descreve o modelo proposto neste estudo. Ele foi baseado no *framework* para resolução de problemas de decisão formulado por Almeida (2013). A Figura 2 apresenta as fases empregadas para seleção multicritério de portfólio de projetos com interações.

Figura 2 - Modelo multicritério de seleção de portfólio de projetos com interações



Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

O modelo é dividido em três fases. A “Fase Inicial” é destinada a preparação do processo de decisão, determinando os principais parâmetros como o decisor, objetivos, alternativas, restrições e as interações entre os projetos. A Fase de “Implementação” contempla a geração dos portfólios viáveis não dominados através do procedimento adaptado de Árvore de Busca e, após a determinação das alternativas, é proposto a aplicação do método multicritério modelo aditivo com veto para problemática de escolha. Já a fase de “Finalização”, é composta pela elaboração de uma análise de sensibilidade Monte Carlo, a avaliação dos resultados alcançados e a recomendação das principais considerações ao decisor para a implementação da decisão. A seguir, cada uma das fases do modelo é relatada detalhadamente.

### 4.1 Fase inicial

#### ***4.1.1 Determinar o decisor***

O modelo proposto considera a premissa de uma decisão individual. Inicialmente na etapa 1 deve ser definido o indivíduo que terá as suas preferências levadas em conta e, que será o responsável pelas consequências da decisão. Além disso, também devem ser determinados os outros atores que podem influenciar no processo decisório, como o assessor, especialistas e *stakeholders*.

#### ***4.1.2 Definir objetivos e critérios***

A etapa 2 está relacionada com a identificação, pelo decisor, dos objetivos almeçados com a decisão. Em seguida, com base nesses, os critérios do problema devem ser estabelecidos, auxiliando assim na avaliação de desempenho dos projetos nos objetivos elencados.

#### ***4.1.3 Identificar projetos e restrições***

Na etapa 3, devem ser mapeados os projetos candidatos ao portfólio da organização. Outra atividade é a identificação dos recursos consumidos por esses projetos e devido os recursos limitados da instituição, também é necessário a determinação dos limites disponíveis. Dessa forma, inicialmente o modelo contempla uma problemática de portfólio, na qual, o intuito é montar as combinações possíveis de projetos, respeitando as restrições impostas. Ainda nessa etapa, os dados referentes ao consumo de cada projeto nos recursos devem ser colhidos.

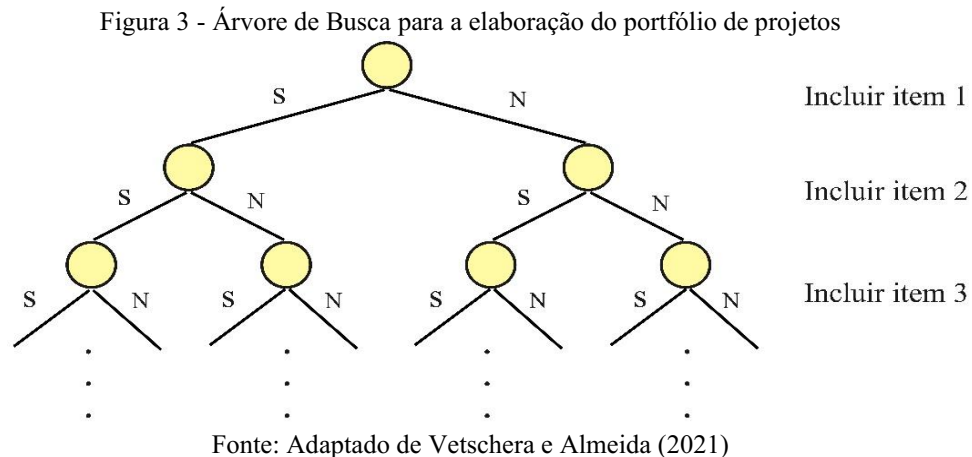
#### ***4.1.4 Mapear as interações entre os projetos***

Com base nas opiniões dos atores do processo, devem ser analisadas as possíveis interações entre os projetos para critérios e recursos na etapa 4. Destaca-se que, para esse modelo, são exploradas relações entre pares de projetos, podendo ser interações de sinergia (positivas para os critérios de maximização, negativas para os critérios de minimização e para os recursos) ou canibalização (negativas para os critérios de maximização, positivas para os critérios de minimização e para os recursos). Recomenda-se, inicialmente, identificar as interações e, em seguida, mensurar uma estimativa dos seus valores e efeitos segundo as opiniões do decisor.

## 4.2 Implementação

### 4.2.1 Gerar os portfólios viáveis não dominados

A etapa 5 consiste na utilização do método de Árvore de Busca (*search tree*). O método proposto neste trabalho, é baseado no estudo de Vetschera e Almeida (2021), que por sua vez foi fundamentado pela Árvore de Busca para construção de portfólio proposto por Vetschera (1994). Os autores desenvolveram um modelo para seleção de portfólio de projetos com interações, atribuindo limites nos valores dos objetivos e com possibilidade de aplicação em cenários que existam funções não monotônicas (VETSCHERA; ALMEIDA, 2021). A Figura 3 ilustra o preenchimento da árvore.



Cada circunferência, na Figura 3, representa um nó e nele é tomada uma decisão sobre o projeto. Caso ele seja selecionado, segue-se pelo ramo da esquerda (S – sim) e ele é acrescentado ao portfólio; de maneira contrária, se ele não for selecionado, o processo continua pelo ramo da direita (N – não). A análise continua até o último nível ou até que o portfólio se torne inviável, ou seja, a adição do projeto do nível excederia pelo menos um dos recursos disponíveis, fazendo com que ramo deva ser descartado. Com base nessa estrutura, devem ser analisados todos os ramos promissores para a determinação dos portfólios viáveis. Um portfólio viável é uma combinação de projetos que respeite as restrições do problema.

Além disso, seja  $N$  o conjunto formado por todos os projetos candidatos. Ao longo da construção dos portfólios, os projetos do conjunto  $N$  vão sendo alocados em três conjuntos:  $S1$  – projetos já incluídos,  $S2$  – projetos já rejeitados e  $S3$  – projetos a decidir (VETSCHERA; ALMEIDA, 2021). Portanto, ao longo do procedimento, esses conjuntos vão sendo alterados

de formar a gerar todas as combinações possíveis de portfólios. O Fluxograma 1 exibe o passo a passo realizado para a construção dos portfólios viáveis não dominados.

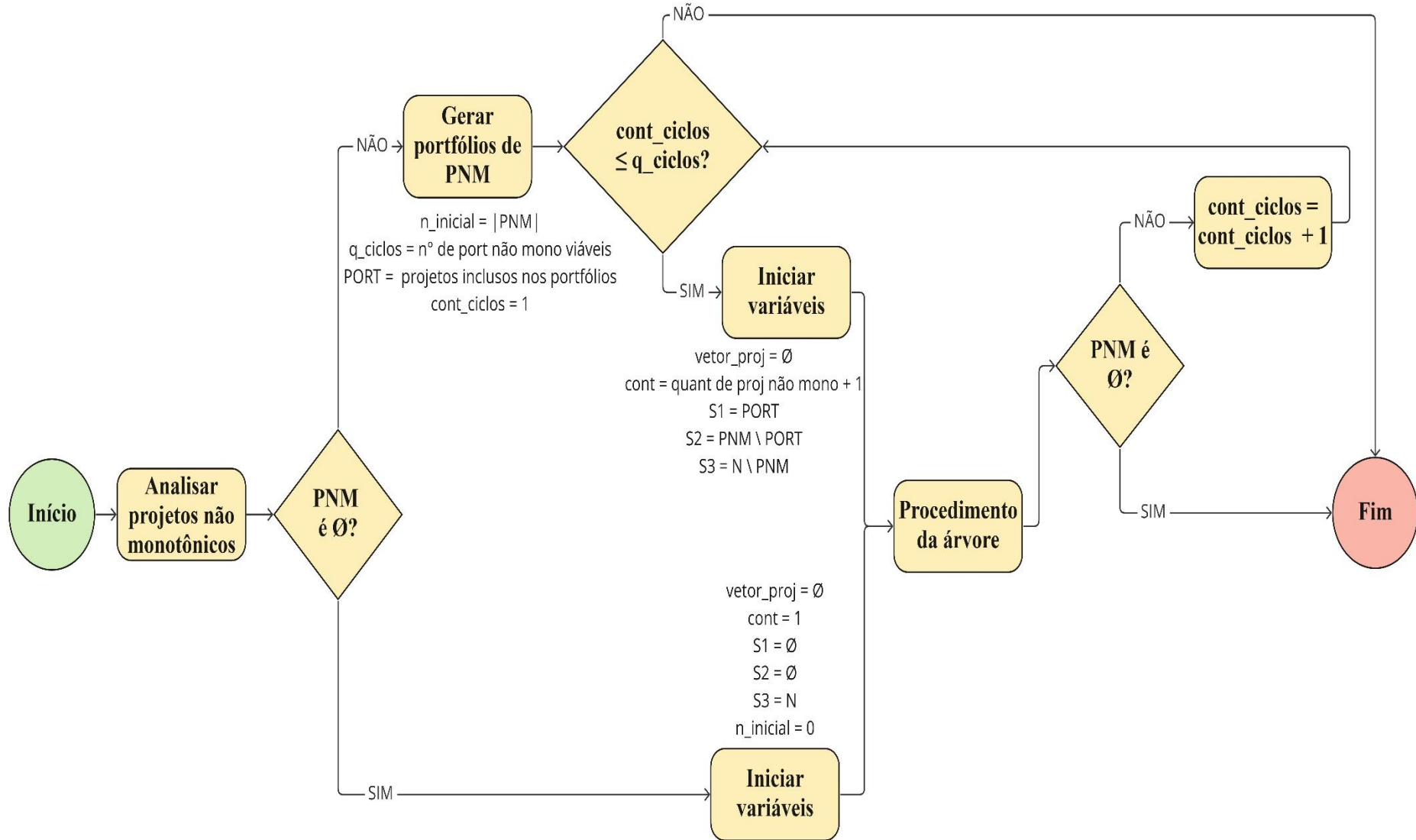
Inicialmente é verificado se existem sinergias (interações cujo significado é descrito no Capítulo 3) entre pares de projetos que geram a não monotonicidade do consumo de recursos, sendo os projetos que possuem essas interações, chamados nesse estudo, como projetos não monotônicos. Logo, as seguintes condições são analisadas para todos os recursos: ou o valor da sinergia entre os projetos deve ser maior do que o consumo de ambos os projetos no recurso; ou o valor da sinergia entre os projetos deve ser pelo menos maior do que o consumo de um dos projetos no recurso.

Esse procedimento é realizado para esses projetos serem os primeiros analisados para a construção dos portfólios, pois as sinergias fazem com que as suas inclusões gastem menos recursos do que os seus consumos originais. Dessa forma, a função de consumo de recurso se torna não monotônica e, pode vir a gerar sobra de recursos que permitam a adição futura de outros projetos que não seriam incluídos caso não existisse esses recursos disponíveis adicionais. Seja PNM o conjunto composto pelos projetos não monotônicos, se um caso explicado anteriormente for confirmado, o par de projetos não monotônicos é adicionado no conjunto PNM.

O próximo passo é a verificação se o conjunto PNM é vazio. Se ele não for, são geradas todas as combinações de portfólios intermediários viáveis, denominados de intermediários nesse estudo, porque ainda não foram analisados todos os projetos candidatos, apenas os projetos não monotônicos. Ademais, as variáveis  $n\_inicial$  (número do nível inicial),  $q\_ciclos$  (quantidade de ciclos), PORT (matriz que guardará para cada portfólio viável, um vetor com os projetos incluídos nos respectivos portfólios) e  $cont\_ciclos$  (contador de ciclos) são inicializadas. O  $n\_inicial$  é igual a quantidade de projetos de PNM, visto que esse é o último nível com o portfólio já formado; a  $q\_ciclos$  recebe o número de ciclos que será necessário o uso de procedimentos da Árvore de Busca, sendo esse igual a quantidade de portfólios intermediários viáveis; PORT recebe os projetos incluídos nos portfólios intermediários viáveis e  $cont\_ciclos$  é o contador que marcará quando um ciclo da árvore for encerrado, sendo esse iniciado em um. Após a definição dessas variáveis, é efetuado a comparação de  $cont\_ciclos$  com  $q\_ciclos$ , se ele for menor ou igual, segue-se para a inicialização das variáveis e, caso contrário, são encerrados todos os processos, já que foram realizados os ciclos necessários.



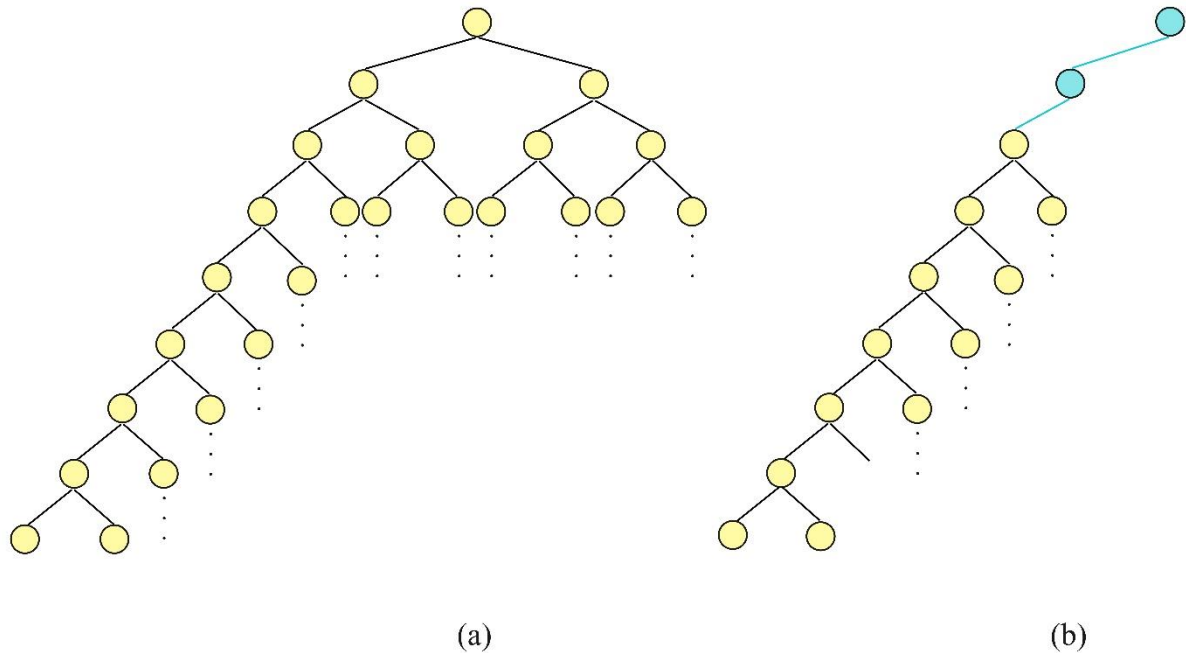
Fluxograma 1 - Árvore de Busca proposta nesse estudo



Fonte: Autora (2023)

Quanto ao procedimento de construção dos portfólios através da árvore, os processos são semelhantes quando existem ou não projetos em PNM, as principais diferenças são que algumas variáveis possuem valores distintos e que para o caso não monotônico, é necessário mais de um ciclo do procedimento da árvore, um para cada portfólio intermediário viável. A Figura 4 mostra a diferença das árvores para um exemplo composto por oito projetos.

Figura 4 - Diferença entre as árvores para os casos monotônico e não monotônico



Fonte: Autora (2023)

Destaca-se que apesar de ser necessário utilizar o procedimento da árvore mais de uma vez, as árvores serão menores do que quando PNM é vazio, porque para os primeiros nós, as decisões de incluir ou não os projetos não monotônicos já foram feitas. Como pode ser notado na Figura 4, quando todos os projetos são monotônicos (a), todos os ramos da árvore devem ser investigados. Porém no cenário (b) com dois projetos não monotônicos (marcados em azul), as decisões nos dois primeiros nós já foram determinadas, restando para o procedimento da árvore investigar seis níveis ao invés de oito.

Se todos os projetos forem monotônicos, é estabelecido o contador *cont* em um, sendo esse relacionado com o nível do portfólio. Os conjuntos S1 e S2 são iniciados em vazio e todos os projetos candidatos são adicionados em S3. Seja *vetor\_proj* um vetor do tamanho do número de projetos e com todos os seus elementos vazios, onde cada posição dele guardará o número do projeto analisado no nível. Ademais, o *n\_inicial* é inicializado em zero, porque nenhum projeto foi investigado ainda.

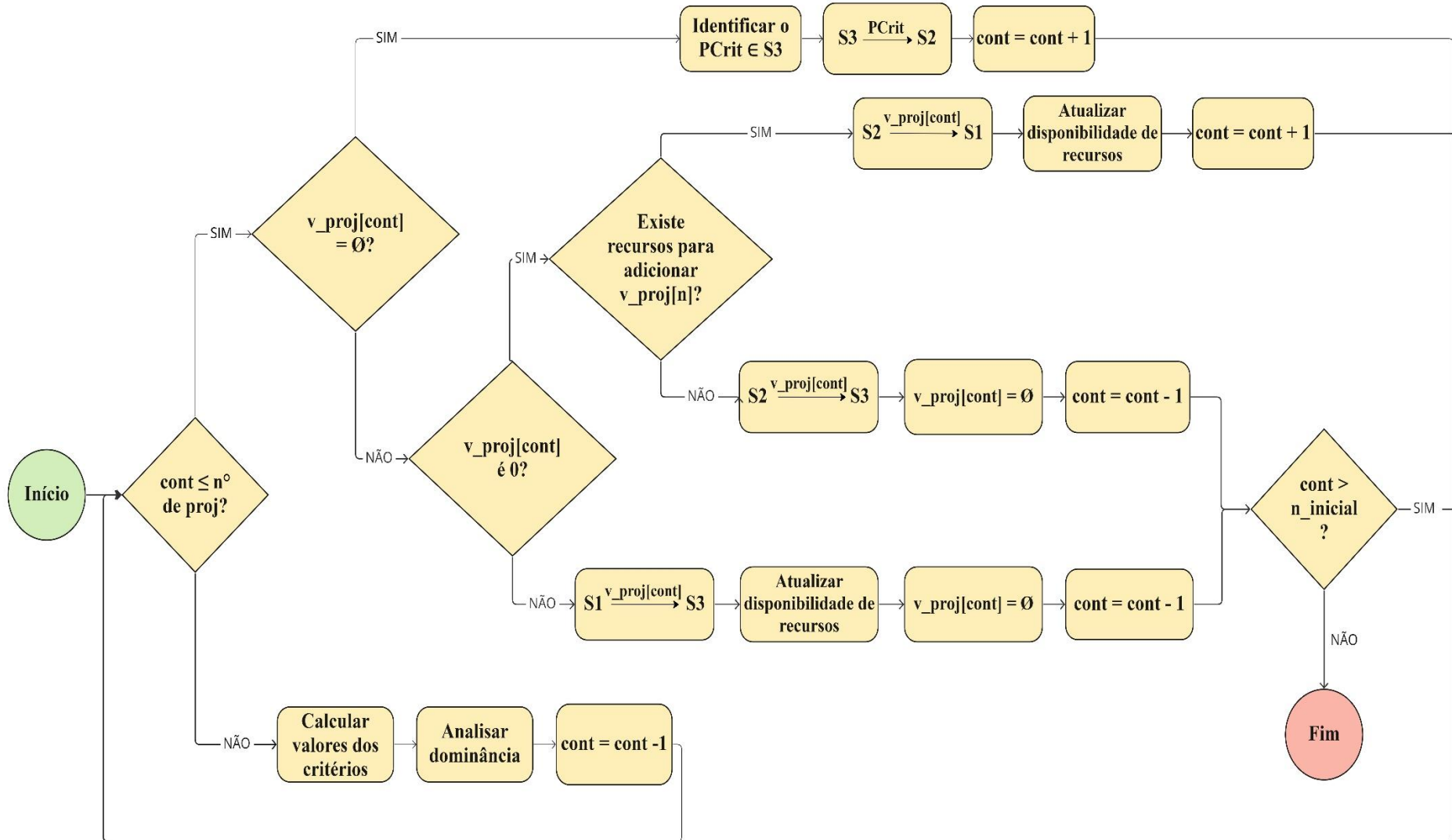
Se existirem projetos não monotônicos, *cont* inicia com valor da quantidade de projetos não monotônicos mais um, dado que esse será o nível atual. S1 recebe os projetos de PORT, ou seja, os inclusos; S2 recebe os projetos de PNM que não estavam em PORT, logo, são os projetos que não foram inclusos. S3 é composto pelos projetos do conjunto N que não estavam presentes em PNM e o *vetor\_proj* é iniciado vazio. Vale destacar que para esses projetos não monotônicos, a decisão já foi efetuada, portanto para o atual ciclo da árvore, eles permanecem no conjunto alocados no início do ciclo. Já os demais projetos de S3 vão sendo alocados nos conjuntos S1 e S2, para gerar todas as combinações possíveis do portfólio intermediário viável. Destaca-se que para cada ciclo da árvore, todas as variáveis são atualizadas de acordo com o portfólio intermediário viável atual, incluído os conjuntos S1, S2 e S3.

Após a inicialização das variáveis para ambos os casos, segue-se para o procedimento da Árvore de Busca, sendo os seus passos apresentados no Fluxograma 2. Após o ciclo da árvore, se não existirem projetos não monotônicos, o processo é finalizado, porquanto todos os portfólios possíveis já foram testados. Entretanto, se existirem projetos não monotônicos, o *cont\_ciclos* é atualizado e volta-se para a comparação dele com a *q\_ciclos*. Se ainda for menor, analisa-se o próximo portfólio intermediário viável; se for maior, então todos os portfólios intermediários viáveis foram testados e assim pode-se seguir para a finalização de todo o processo.

Inicialmente no procedimento da Árvore de Busca é verificado se *cont* é menor ou igual ao número de projetos. Se for, o processo continua; caso contrário, isso significa que foi montado um portfólio viável e esse segue para a determinação dos valores dos critérios e para análise de dominância.

Caso o primeiro cenário aconteça, examina-se se a posição no nível do contador do *vetor\_proj* é vazia, ou seja, se ainda não foi analisado nenhum projeto nesse nível. Caso isso ocorra, a etapa seguinte é a identificação do projeto crítico (PCrit) pertencente a S3 que ocupará essa posição. Ressalta-se que a ordem em que os projetos são analisados influencia na eficiência da Árvore de Busca, devido a possibilidade de desconsideração de ramos que geram portfólios inviáveis ser feita mais rapidamente. No artigo de Vetschera e Almeida (2021), eles propõem o cálculo de um limite superior de produção marginal para a ordenação dos projetos, que é determinado por meio do quociente da contribuição do item no objetivo em relação ao requerimento de consumo em um recurso, incorporando também as interações entre os projetos de S1 e de S3.

Fluxograma 2 - Passos do procedimento da árvore



Fonte: Autora (2023)

Para o presente estudo, foi desenvolvido um procedimento para a ordenação dos projetos, onde em cada nó é realizado a escolha do projeto prioritário. Inicialmente é definido um subconjunto S3\_1, sendo esse composto pelos projetos de S3 que possuem alguma interação (de sinergia ou canibalização) com projetos de S1 e/ou S3 no recurso em questão. Ressalta-se que o subconjunto formado deve ser determinado para cada recurso e, assim, pode ser diferente um dos outros, dado que as interações entre os projetos podem ser distintas dependendo do recurso observado.

Em seguida, é realizado o cálculo do Índice Crítico do Recurso (ICR) para cada recurso, para identificar qual deles mais impacta no processo da árvore devido a disponibilidade de recursos ( $D_j$ ) e possíveis interações entre projetos ainda não analisados, conforme mostrado na Equação 3.

$$ICR_j = \frac{R3_j + B1e3.1_j + B3.1e3.1_j}{D_j} \quad (3)$$

Onde:

$ICR_j$  é o valor do Índice Crítico do Recurso  $j$ ;

$R3_j$  é o consumo total dos projetos de S3 no recurso  $j$ ;

$B1e3.1_j$  é a soma total das interações de sinergia e canibalização dos projetos de S3\_1 e S1 no recurso  $j$ ;

$B3.1e3.1_j$  é a soma total das interações de sinergia e canibalização dos projetos de S3\_1 e S3\_1 no recurso  $j$ ;

$D_j$  é a disponibilidade atual do recurso  $j$ .

Após a determinação do ICR para cada recurso, o que possuir maior valor é definido como sendo o recurso crítico, com índice *kcrit*. Prosseguindo com o processo, é calculado o  $ICP_{NI}$  (Índice Crítico do Projeto – Não Incluir) e o  $ICP_I$  (Índice Crítico do Projeto – Incluir) para cada um dos projetos de S3, ou seja, para os ainda indecisos. O  $ICP_{NI}$  é calculado para analisar o impacto que pode trazer ao portfólio se for decidido não incluir o projeto e o  $ICP_I$  seria para verificar a contribuição que pode gerar ao portfólio caso seja incluído. As Equações 4 e 5 mostram, respectivamente, a formulação matemática desses termos.

$$ICP_{NI}^n = \frac{SIN1_{jcrit}^n - e_{jcrit}^n}{D_{jcrit}} \quad (4)$$

Onde:

$ICP_{NI}^n$  é o Índice Crítico do Projeto – Não Incluir do projeto  $n$ ;

$SIN1_{jcrit}^n$  é o valor da soma das interações de sinergia em módulo do projeto  $n$  com os projetos do conjunto S1 no recurso  $jcrit$ ;

$e_{jcrit}^n$  é o consumo do projeto  $n$  no recurso  $jcrit$ ;

$D_{jcrit}$  é a disponibilidade atual do recurso  $jcrit$ .

$$ICP_I^n = \frac{e_{jcrit}^n + CAN1_{jcrit}^n}{D_{jcrit}} \quad (5)$$

Onde:

$ICP_I^n$  é o Índice Crítico do Projeto – Incluir do projeto  $n$ ;

$CAN1_{jcrit}^n$  é o valor total da soma das interações de canibalizações do projeto  $n$  com os projetos dos conjuntos S1 no recurso  $kcrit$ .

Com base nesses índices, foi determinado uma regra de decisão para a escolha do PCrit. Essa regra é exposta na Equação 6.

$$PCrit = \begin{cases} t : \text{Min}(|ICP_{NI}^t|, ICP_I^t) = M_{m_{ICP}} \text{ se } |N'| > 0 : N' = \{n \in N | \text{Max}(|ICP_{NI}^n|, ICP_I^n) > 1\} \\ t : |ICP_{NI}^t| + ICP_I^t = M_{somaIPC} \text{ se } N' = \emptyset \end{cases} \quad (6)$$

Onde:

$$M_{m_{ICP}} = \text{Max}(\text{Min}(|ICP_{NI}^n|, ICP_I^n))$$

$$M_{somaIPC} = \text{Max}(|ICP_{NI}^n| + ICP_I^n)$$

Destaca-se que  $\text{Max}(|ICP_{NI}^n|, ICP_I^n)$  representa o maior valor entre  $ICP_{NI}^n$  ou  $ICP_I^n$ , e quando apenas existir um projeto com um desses valores maiores que um, esse será o PCrit. Porém, caso exista mais de um projeto, o PCrit será aquele que possuir o maior valor para o outro índice ( $M_{m_{ICP}}$ ). Se esses cenários não acontecerem e ambos os índices sejam menores ou igual a um, o PCrit será o projeto com o maior valor da soma dos índices de criticidade ( $M_{somaIPC}$ ). Vale destacar que efetuamos esse processo toda vez que um novo projeto deve ser

analisado e isso é feito apenas para definir qual o projeto que será analisado no nó. A decisão de incluir ou não o projeto é realizada através de outros processos da árvore.

Após a determinação do PCrit, esse é retirado do conjunto S3 e passa a fazer parte do conjunto S2, logo, ele não é incluído no portfólio. Ressalta-se que a seta no Fluxograma 2 representa a retirada do projeto acima da seta do conjunto da esquerda e a adição dele no conjunto da direita. Ou seja, nesse ponto, o PCrit é retirado de S3 e adicionado em S2. Tanto na troca de S3 para S2, quando na troca de S2 para S3, não é necessário atualizar a disponibilidade de recursos, dado que o projeto passa apenas de não analisado para não incluso ou vice-versa. Em seguida, *cont* é atualizado e recebe mais um, para que na próxima iteração desça-se um nível, e o processo volta para a comparação de *cont* com o número de projetos.

Para o caso do projeto na posição do nível do contador de *vetor\_proj* não seja igual a vazio, é analisado em seguida se ele tem valor 0, ou seja, se está no conjunto S2. Em caso afirmativo, é verificado se existe recurso disponível suficiente em todos os recursos do problema para adicionar esse projeto. Se sim, esse projeto é retirado de S2 e passa a fazer parte de S1, bem como é atualizado a disponibilidade de recursos, considerando o consumo do projeto e as interações dele com o conjunto S1 em cada recurso, e é somado um em *cont*. Caso não existam recursos, esse projeto é retirado de S2, adicionado em S3 e retira-se um do *cont*, para que no próximo ciclo, seja retornado ao nível anterior.

Outra possibilidade é o projeto na posição do contador de *vetor\_proj* não ser vazio e nem possuir valor zero, logo ele possui valor um e está incluído no portfólio. Nesse caso, o procedimento realizado é a retirada do projeto da posição do contador de *vetor\_proj* de S1 e adição dele em S3, a atualização de recursos (é removido o consumo e as interações dele com o conjunto S1), e retira-se um do *cont*. Em seguida, o processo volta para a comparação de *cont* com a quantidade de projetos.

Caso *cont* seja igual ao número de projetos, isso significa que foi construído completamente um portfólio viável, logo segue-se inicialmente para o cálculo dos valores dos critérios. São analisados quais os projetos foram inseridos e com base nos tipos dos critérios decididos pelo decisor, o desempenho portfólio nos critérios são determinados. Outra diferença em relação ao trabalho tomado como base de Vetschera e Almeida (2021), é que o modelo proposto nesse trabalho estabelece diferentes funções de agregação para os critérios do problema. Foi decidido incorporar mais de um tipo de função para melhor adaptabilidade com os problemas reais e para tornar os resultados gerados mais coerentes.

O primeiro critério, denominado de “Tipo 1”, realiza a agregação de desempenho dos projetos por meio de uma soma dos valores individuais de cada projeto e as interações presentes

no portfólio, conforme mostrado na Equação 7. Um exemplo de critério que pode usar essa função é o benefício financeiro gerado pelos projetos. Para esse tipo de critério, a interação é em relação a contribuição no portfólio, assim, por exemplo, se o valor da interdependência entre um projeto A e B for 100, essa também é a mesma para B e A, e esse valor será adicionado uma vez ao portfólio como um todo. Destaca-se também que o somatório das interações é feito dessa maneira para não contabilizar mais uma vez a mesma interação.

$$X_{crit1} = \sum_{n \in S1} x_n + \sum_{n \in S1} \sum_{\substack{t \in S1 \\ t > n}} b_{n,t} \quad (7)$$

Onde:

$X_{crit1}$  é o valor total do critério “Tipo 1”;

$x_n$  é o valor da contribuição do projeto  $n$  para o critério;

$b_{n,t}$  é o valor da interação de sinergia e/ou canibalização entre os projetos  $n$  e  $t$  para o critério.

O segundo tipo de função desenvolvida foi para um critério do “Tipo 2”, que é composta pela multiplicação dos valores dos projetos e de correções em conta a mudança de desempenho proveniente das interações entre os projetos. Nesse caso, a interação entre projetos impacta nos valores dos próprios projetos. Um exemplo seria a determinação do sucesso do portfólio com base na estimativa de sucesso dos projetos. Inicialmente devem ser identificados os valores das mudanças de desempenho dos projetos. Assim, supondo que os projetos A e B possuam os valores 0,8 e 0,9; devido a interação entre eles, seus valores passam a ser respectivamente 0,85 e 0,92. Em seguida, realiza-se uma ponderação em relação aos valores originais através da Equação 8, logo nesse exemplo esse valor de impacto de mudança causado pela interação seria de 1,086. Em seguida, pode ser calculado o valor total do critério “Tipo 2” segundo a Equação 9, onde são incorporadas as contribuições nos critérios de todos os projetos de S1. Vale ressaltar que as funções para o critério “Tipo 2” foram elaboradas prevendo o caso em que nenhum projeto possui relação com mais de um projeto, portanto o seu uso é restrito para quando essa premissa for verdadeira.

$$f_{n,t} = \frac{x'_n * x'_t}{x_n * x_t} \quad (8)$$



$$X_{crit2} = \prod_{n \in S1} x_n * \prod_{\substack{(n,t) \in S1 \\ t > n}} f_{n,t} \quad (9)$$

Onde:

$X_{crit2}$  é o valor total do critério “Tipo 2”;

$x_n$  é o valor da contribuição do projeto  $n$  para o critério;

$x'_n$  é o novo valor da contribuição do projeto  $n$  no critério proveniente da interação com outro projeto;

$f_{n,t}$  é o valor do impacto causado pela interação entre os projetos  $n$  e  $t$ .

O terceiro tipo de função (“Tipo 3”) foi formulado para a média de valores em que as interações também são no nível dos projetos, ou seja, caso exista interações em que os valores originais dos projetos no critério são modificados devido a possíveis relações entre eles. Um exemplo seria um critério de qualidade dos projetos com base em uma escala construída. Inicialmente devem ser calculadas as contribuições ajustadas dos projetos ( $h_n$ ) conforme a Equação 10.

$$h_n = x_n + \sum_{n \in S1} \sum_{\substack{t \in S1 \\ t > n}} o_{n,t} \quad (10)$$

Onde:

$h_n$  é a contribuição ajustada do projeto  $n$  para o critério em decorrência das interações com outros projetos;

$x_n$  é o valor da contribuição do projeto  $n$  para o critério;

$o_{n,t}$  é o valor da diferença na contribuição do projeto  $n$  por causa da interação com o projeto  $t$ .

A exemplo, supondo que seja criado uma escala construída de 1 a 5, sendo 1 nenhuma contribuição no quesito qualidade e 5 uma contribuição significativa na qualidade. Se existe interação entre os projetos A e B, tendo esses valores iniciais respectivamente de 4 e 3, e caso B seja implementado junto com A, esse último passa para uma qualidade de 5, portanto a diferença em relação ao valor original é 1. Logo, o valor da contribuição ajustada do projeto A, seria, quatro mais um, mais outras possíveis contribuições no seu valor por causa das interações

com outros projetos. Destaca-se que caso o valor final da contribuição ajustada do projeto seja maior do que o último nível da escala construída, seu valor deve ser alterado e apenas representar o valor do último nível.

Devem ser mapeadas todas as contribuições ajustadas e essas devem ser incorporadas na Equação 11, para ser efetuado o valor total do critério “Tipo 3”. Vale ressaltar que para outros critérios de escala construída, tipos diferentes de funções podem ser mais recomendados.

$$X_{crit3} = \frac{\sum_{n \in S1} h_n}{|S1|} \quad (11)$$

Onde:

$X_{crit3}$  é o valor total do critério “Tipo 3”;

$|S1|$  é o tamanho do conjunto S1.

O quarto tipo de função, denominada “TIR”, foi formulada para um critério que utilize como base em específico para a Taxa Interna de Retorno (TIR). Para ele, realiza-se uma média ponderada dos TIR’s dos projetos e os seus custos de implementação são utilizados como pesos. Destacamos que não foi incorporada relações de interação nessa função por simplificação na coleta dos dados da elicitação dessas informações pelo decisor. A Equação 12 expõe a formulação matemática para esse critério.

$$X_{TIR} = \frac{\sum_{n \in S1} por_n * e_n^{fin}}{\sum_{n \in S1} e_n^{fin}} \quad (12)$$

Onde:

$X_{TIR}$  é o valor do critério “TIR”;

$por_n$  é a porcentagem de contribuição do TIR do projeto  $n$  para o critério;

$e_n^{fin}$  é o valor do consumo do projeto  $n$  no recurso financeiro.

Após o cálculo dos valores para cada critério e seguindo com o Fluxograma 2, efetua-se a avaliação de dominância. Nessa etapa, é verificado se o atual portfólio supera outros, sendo realizado para retornar para o decisor apenas os portfólios não dominados. Seja a matriz  $matriz\_PND$  composta pelos portfólios não dominados, caso ainda não tenha nenhuma solução não dominada, o portfólio em questão passa a fazer parte dela. Todavia, se já existir algum portfólio salvo em  $matriz\_PND$ , é realizado a comparação do atual com os presentes no

conjunto. Ele será uma solução não dominada se para cada um dos portfólios da *matriz\_PND*, o portfólio novo for melhor em pelo menos um dos critérios, logo, esse portfólio é salvo no conjunto. Além disso, caso a solução atual domine um portfólio da *matriz\_PND* em todos os critérios, esse dominado é retirado do conjunto. Após a análise de dominância, retira-se um de *cont* e retorna-se à comparação dele com o número de projetos, para se retornar ao último nível e assim analisar todas as outras combinações de portfólio viáveis.

Com base nos processos descritos acima, todos os portfólios viáveis não dominados são montados e assim, pode-se seguir para a escolha do mais preferível segundo o decisor.

#### **4.2.2 Aplicar um método multicritério**

A etapa seguinte é a da aplicação do método multicritério. Vale ressaltar que mesmo se tratando de portfólios, a partir dessa etapa, esses são considerados como as alternativas do problema e a decisão passa a ser analisada sobre a perspectiva de uma problemática de escolha, dado que o decisor busca determinar um único portfólio mais preferível. Assim, podem ser utilizados diversos tipos de métodos que tratam desse tipo de problemática como o modelo aditivo, FITradeoff para escolha, ELECTRE I, ELECTRE IS, PROMETHEE I, PROMETHEE II, dentre outros.

Para esse estudo, o método selecionado foi o modelo aditivo com veto para problemática de escolha. Considerou-se a premissa de racionalidade compensatória e que o decisor não gostaria de selecionar uma alternativa com desempenhos abaixo de um nível desejável. Os critérios considerados são os mesmos estabelecidos pelo decisor no início do processo e os seus valores para cada alternativa foram calculados na etapa de “Calcular os valores dos critérios” conforme explicado acima. Nesse ponto o decisor deve determinar os limiares inferiores e superiores para cada critério, bem como os valores das constantes de escala com base nas suas preferências. Em seguida, deve-se construir a matriz de consequência do problema e aplicar as equações do método multicritério.

O modelo aditivo com veto foi elaborado por De Almeida (2013), para situações com racionalidade compensatória em que o decisor não esteja disposto a aceitar alternativas com desempenhos indesejáveis em certos critérios, mesmo que elas possuam desempenhos superiores em outros. Logo, foi utilizado o conceito de veto através de uma função veto incorporada no modelo aditivo tradicional desenvolvido por Keeney e Raiffa (1976), para evitar que alternativas desse tipo sejam selecionadas.

Com esse propósito, inicialmente devem ser determinados os limiares de veto para os critérios do problema. O limite superior de veto ( $u_i$ ) é o desempenho desejável da alternativa no critério  $i$  segundo o decisor, logo uma alternativa com avaliação intracritério igual/superior a esse limiar, ele está disposto a aceitá-la. O limite inferior de veto ( $l_i$ ) é o mínimo desempenho da alternativa no critério  $i$ , ou seja, abaixo desse valor o decisor com certeza rejeitara-la, independente do seu desempenho nos demais critérios.

Em seguida, deve-se calcular a função de veto da alternativa  $a$  em cada critério ( $z_i(a)$ ), que é determinada conforme a Equação 13.

$$z_i(a) = \begin{cases} 0 & \text{se } v_i(a) \leq l_i \\ \frac{v_i(a) - u_i}{u_i - l_i} & \text{se } l_i < v_i(a) < u_i \\ 1 & \text{se } v_i(a) \geq u_i \end{cases} \quad (13)$$

Onde:

$z_i(a)$  é a função veto da alternativa  $a$  no critério  $i$ ;

$v_i(a)$  é a avaliação intracritério da alternativa  $a$  no critério  $i$ .

Para a problemática de escolha, as funções de veto de todos os critérios da alternativa são agregadas para formar o índice de veto  $z(a)$ , conforme mostrado na Equação 14.

$$z(a) = \prod_{i \in M} z_i(a) \quad (14)$$

Por se tratar de um produtório, o índice de veto da alternativa recebe valor zero se tiver algum desempenho inaceitável em pelo menos um critério, valor um se tiver desempenho desejável em todos os critérios e um valor intermediário entre zero e um se os desempenhos nos critérios estiverem entre os limiares.

Após essa etapa, esse índice é introduzido no modelo aditivo. Logo, a Equação 15 apresenta a formulação matemática do modelo aditivo com veto para a problemática da escolha.

$$v(a) = z(a) * \left[ \prod_{i \in M} k_i * v_i(a) \right] \quad (15)$$

Onde:

$v(a)$  é a função valor da alternativa;

$k_i$  é a constante de escala em uma escala intervalar do critério  $i$ .

### **4.3 Finalização**

#### ***4.3.1 Realizar análise de sensibilidade***

Com o intuito de reduzir o impacto das imprecisões do decisor no processo de elicitación e verificar a robustez dos resultados com modificações nos dados, a etapa 7 está relacionada com a elaboração de uma análise de sensibilidade Monte Carlo. Nesse tipo de análise, é realizada simulações variando as constantes de escala, de forma a avaliar se ocorrem grandes alterações na alternativa apontada como a mais preferível pelo método multicritério.

#### ***4.3.2 Avaliar os resultados***

Na etapa 8 é proposta a realização da análise dos resultados da seleção de portfólio de projetos com interações, buscando avaliar o portfólio mais preferível, se ele permanece dessa maneira mesmo variando os dados de entrada. Além disso, também podem ser observadas outras informações relevantes, como a importância da introdução das interações entre os projetos no modelo e os projetos mais presentes nos portfólios apontados nas simulações Monte Carlo.

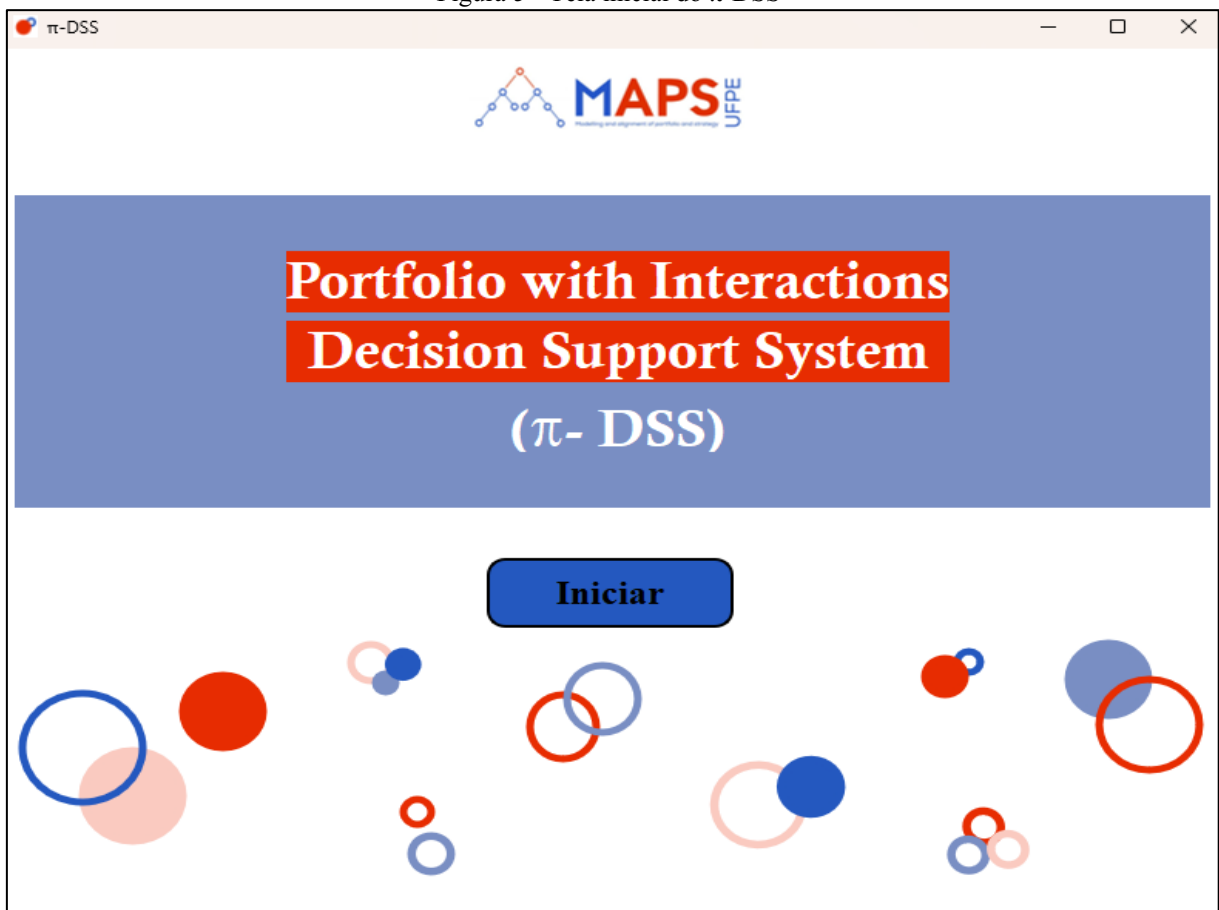
#### ***4.3.3 Elaborar recomendação***

Finalizando o modelo, a etapa 9 consiste na disponibilização dos resultados para o decisor, ressaltando as premissas incorporadas, os melhores portfólios e, destacando a robustez dos resultados. Com base nessas informações, o decisor pode optar por realizar a implementação da decisão com base nos resultados apontados pelo modelo.

## 5 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA SELEÇÃO MULTICRITÉRIO DE PORTFÓLIO COM INTERAÇÕES

Neste capítulo é apresentado o SAD desenvolvido para facilitar o uso do modelo, ajudando assim na resolução do problema de seleção de portfólio com interações. O SAD foi denominado de *Portfolio with Interactions Decision Support System* ( $\pi$ -DSS). Ele é baseado no método de Árvore de Busca para a geração dos portfólios viáveis não dominados e no método multicritério modelo aditivo com veto para a problemática de escolha, realizando a seleção do portfólio conforme as preferências do decisor. Os seus códigos foram elaborados na linguagem de programação “Python”, sendo a interface construída com o auxílio da biblioteca “PyQt6” e a ferramenta “Qt Designer”. A Figura 5 demonstra a tela inicial do  $\pi$ -DSS.

Figura 5 - Tela inicial do  $\pi$ -DSS



Fonte: Autora (2023)

O primeiro processo do  $\pi$ -DSS está relacionado com as etapas 2 e 3 do modelo. Nela, o usuário deve preencher o número de projetos, critérios e recursos do problema, conforme

mostrado na Figura 6. Para os critérios, a Figura 7 apresenta uma janela adicional para os seus parâmetros.

Figura 6 - Tela para preenchimento dos dados do problema

The screenshot shows a window titled "π-DSS" with the main heading "DADOS DO PROBLEMA" underlined. Below the heading, there are two input fields: "Número de projetos:" with a dropdown menu showing "0" and "Número de restrições:" with a dropdown menu showing "0". Below these fields, there is a label "Critérios:" followed by a red button labeled "Abrir". In the center, there are three stacked red buttons: "Baixar manual", "Baixar planilha padrão", and "Importar os dados". At the bottom, there are two buttons: a blue button labeled "Voltar" and a grey button labeled "Gerar portfólios". The MAPS logo is visible in the bottom left corner.

Fonte: Autora (2023)

Figura 7 - Janela dos critérios do problema

The screenshot shows a window titled "π-DSS" with the main heading "CRITÉRIOS". Below the heading, there is a white box containing the text "Nº de critérios salvos: 0". Below this, there are five labels with corresponding input fields: "Nome do critério:" with a text input field, "Tipo do critério:" with a dropdown menu showing "-", "Direção do critério:" with a dropdown menu showing "-", "Escala construída:" with a dropdown menu showing "Não", and "Quantidade de níveis:" with a dropdown menu showing "-". At the bottom, there are two red buttons: "Remover critérios salvos" and "Adicionar critério".

Fonte: Autora (2023)

Em especial para os critérios, deve ser definido o nome, o tipo (“Tipo 1”, “Tipo 2”, “Tipo 3”, “TIR”), a direção da função (“Maximização”, “Minimização”), se a escala é do tipo construída (“Não”, “Sim”) e caso esse último tenha a resposta afirmativa, também deve-se informar a quantidade de níveis da escala.

Com os campos dos parâmetros devidamente preenchidos, o usuário pode baixar a planilha padrão para preenchimento dos dados. Conforme descrito nas etapas 2, 3 e 4 do modelo, deve-se identificar os valores dos projetos em cada critério, os seus consumos de recursos, a disponibilidade total de cada recurso, bem como os valores das interações entre os pares de projetos nos critérios e recursos. Em seguida, o usuário pode realizar a importação da planilha no  $\pi$ -DSS.

Após esses passos, o próximo processo é o da geração dos portfólios baseado na etapa 5 do modelo. Quando essa opção é selecionada, realiza-se internamente no  $\pi$ -DSS a determinação dos portfólios viáveis não dominados e uma nova tela apresenta os resultados encontrados. Um exemplo do resultado esperado é demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Tela dos portfólios viáveis não dominados gerados

***PORTFÓLIOS GERADOS***

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	1	0	1	0

**Exportar portfólios**

**Voltar**      **Método multicritério**



A tabela mostrada na Figura 8 é composta pelos valores de cada projeto (0 se o projeto não foi incluído e 1 caso ele tenha sido incluído), dos critérios e os consumos de recursos do portfólio, onde cada linha é um portfólio viável não dominado. Destaca-se que ao longo do  $\pi$ -DSS, o usuário possui a opção de exportar os resultados em planilhas de dados.

O próximo processo, seguindo o descrito na etapa 6 do modelo, é a aplicação do método multicritério. Inicialmente o usuário deve preencher os parâmetros do modelo aditivo com veto para a problemática de escolha (Figura 9), sendo eles as constantes de escala, limiares inferiores e limiares superiores para cada critério.

Figura 9 - Tela dos parâmetros do modelo aditivo com veto para escolha

	Retorno financeiro	Sucesso	Tempo	TIR
<b>Constante de escal</b>	-	-	-	-
<b>Limiar inferior:</b>	-	-	-	-
<b>Limiar superior:</b>	-	-	-	-

Botões: **Salvar parâmetros**, **Voltar**, **Calcular valor global**

Logotipo: MAPS

Fonte: Autora (2023)

Após salvar os parâmetros, o processo continua através do cálculo do valor global das variáveis e uma nova tela é apresentada com os resultados do modelo aditivo com veto para escolha, conforme pode ser visto na Figura 10. A tabela da tela apresenta as alternativas ordenadas pelo valor global, onde cada linha contém o seu número da alternativa, valor global e portfólio (cada número representa o valor assumido pelos projetos candidatos).

Ademais, conforme previsto na etapa 7 do modelo, o usuário pode optar por realizar uma análise de sensibilidade Monte Carlo do resultado. Conforme a quantidade de análises e

variação das constantes de escala indicada pelo usuário, são realizadas as análises de cenários. A Figura 11 exibe a janela em que o usuário deve preencher os parâmetros da análise.

Figura 10 - Tela dos resultados do modelo aditivo com veto para escolha

	Nº da alt	Valor global	Portfólio
1	24	0,6859	[0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0]
2	30	0,6804	[0, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1]
3	12	0,6645	[0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1]
4	36	0,6605	[0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0]
5	63	0,659	[1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0]
6	50	0,6437	[1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0]
7	16	0,636	[0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1]

Fonte: Autora (2023)

Figura 11 - Janela dos parâmetros da análise de sensibilidade

**PARÂMETROS**

**Análise de sensibilidade**

Quantidade de análises:

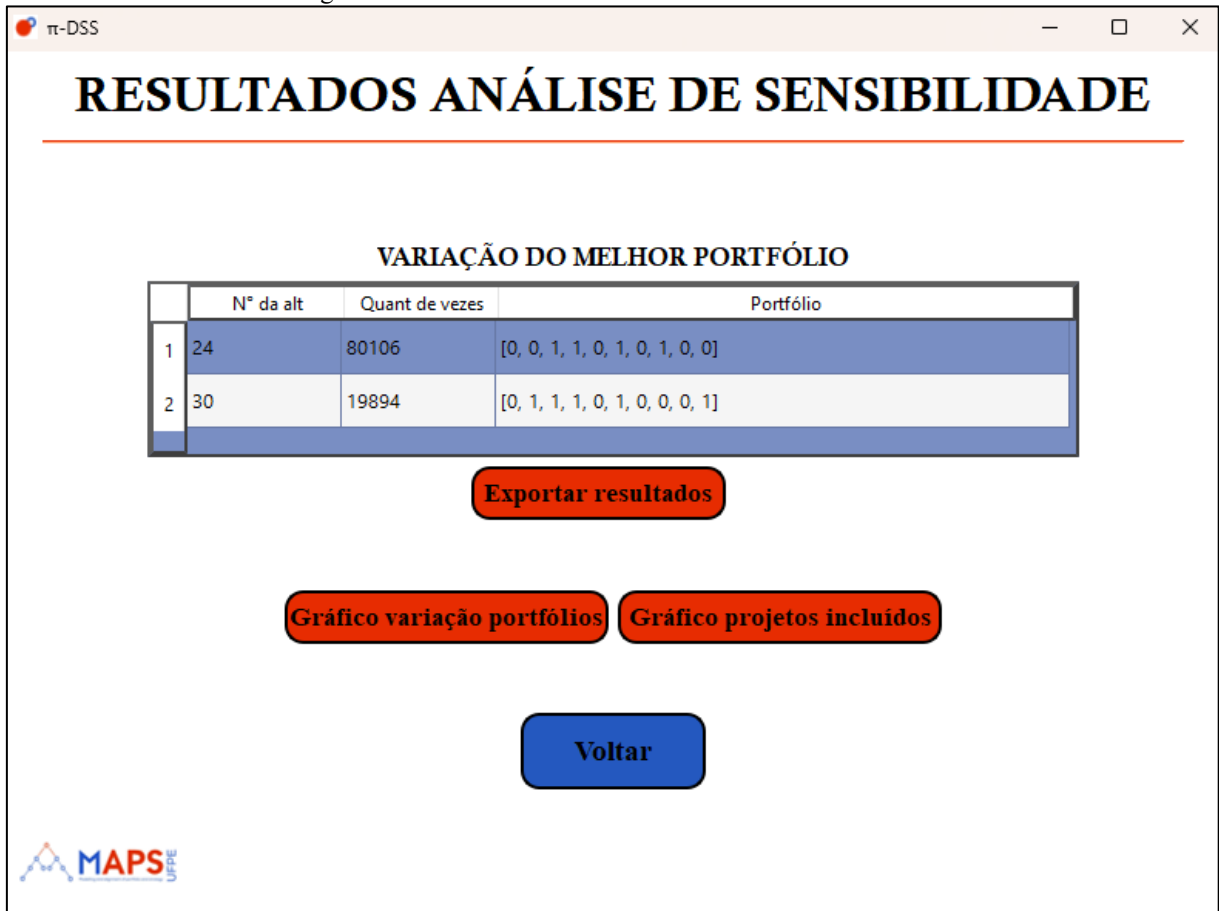
Variação das constantes de escala (%):

Sair Salvar

Fonte: Autora (2023)

Após o usuário salvar os parâmetros da análise de sensibilidade, os resultados são apresentados em uma nova tela, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Tela dos resultados da análise de sensibilidade



Fonte: Autora (2023)

A Figura 12 mostra a tabela que contém os portfólios que foram os escolhidos nas simulações efetuadas, onde é indicado os seus números, a quantidade de vezes que foram selecionados como os melhores e os valores dos seus portfólios. Ressalta-se que o usuário também possui a opção de visualizar os resultados por meio de gráficos da variação dos portfólios e dos projetos incluídos nos portfólios presentes na simulação.

Com base nos resultados encontrados no  $\pi$ -DSS, o usuário pode realizar em seguida as etapas 8 e 9 do modelo. Ademais, mais aspectos da utilização do  $\pi$ -DSS podem ser observados no próximo capítulo durante a descrição do estudo de caso.

## **6 APLICAÇÃO**

Neste capítulo é descrito o estudo de caso realizado, para a demonstração do modelo proposto. Logo, contempla uma pequena descrição da empresa e a descrição das etapas do modelo aplicadas ao problema analisado. Também contém a discussão dos resultados encontrados e contribuições do modelo.

### **6.1 Estudo de caso**

A aplicação foi realizada em uma empresa do ramo de confecção de vestuário localizada na cidade de Caruaru-PE. Segundo IBGE (2023), o subsetor “14 - Confecção de artigos do vestuário e acessórios” está relacionado com a produção dos mais diversos modelos de roupas para adultos e crianças, com base em diferentes tipos de materiais. A confecção de pequeno porte especializada em roupas infantis conta com mais de 20 anos de mercado, sendo composta por cerca de 21 funcionários.

Iniciando o estudo de caso com a etapa 1 do modelo, o decisor do problema foi definido como sendo o dono da empresa, visto sua vasta experiência no mercado e por ser ele que realiza as decisões estratégicas da organização. Com base nas suas opiniões e desejos para a confecção, seguindo a etapa 2, foram definidos os seguintes objetivos: obter um maior faturamento mensal, alcançar uma probabilidade de sucesso alta para o portfólio e melhoria na qualidade operacional da empresa. Com base nos objetivos, determinaram-se respectivamente os critérios associados a esses: “Retorno Financeiro”, “Sucesso” e “Qualidade”. A Tabela 2 apresenta os critérios e as suas características. Em especial para o critério com escala construída, a Tabela 3 exibe a descrição de cada nível da escala.

Em seguida (etapa 3), foram identificados os projetos candidatos a compor o portfólio. A Tabela 4 descreve cada um deles. Além disso, o decisor identificou que as restrições do problema são: recurso financeiro e recursos humanos no setor Administrativo. Para a implementação do portfólio, a organização possui um orçamento de R\$ 20 mil para a realização dos projetos em um ciclo anual. Quanto a outra restrição, os funcionários do setor Administrativo serão os responsáveis por implementar os projetos e como também possuem outras atividades a desempenhar na empresa, foi definido uma disponibilidade máxima de, 18000 horas.

Tabela 2 - Critérios do problema

Nome	Significado	Unid.	Tipo	Direção	Tipo de escala	Quant. de níveis
Retorno financeiro	Estimativa do retorno financeiro mensal do projeto	R\$/mês	Tipo 1	Maximização	Natural	-
Sucesso	Probabilidade de sucesso do projeto	%	Tipo 2	Maximização	Natural	-
Qualidade	Contribuição do projeto para a qualidade operacional da empresa	-	Tipo 3	Maximização	Construído	5

Fonte: Autora (2023)

Tabela 3 - Descrição dos níveis do critério qualidade

Qualidade	
Nível	Descrição
1	Nenhuma contribuição para a qualidade operacional
2	Pouca contribuição para a qualidade operacional
3	Contribuição intermediária para a qualidade operacional
4	Contribuição satisfatória para a qualidade operacional
5	Grande contribuição para a qualidade operacional

Fonte: Autora (2023)

Tabela 4 - Projetos candidatos do problema

Nº	Projeto
P1	Modernização do setor de Corte
P2	Modernização de TI
P3	Estruturação de cargos do setor de Gestão de Produção
P4	Projeto de reforma da cobertura do setor de Costura
P5	Estruturação de cargos do setor Administrativo
P6	Projeto de layout do setor de Costura
P7	Projeto de reciclagem
P8	Estudo financeiro de precificação dos produtos
P9	Projeto de balanceamento da produção
P10	Projeto de layout para o setor de Estoque de Produtos Acabados
P11	Projeto de layout do setor de Estoque de Matéria-Prima
P12	Projeto de marketing para promover vendas online

Fonte: Autora (2023)

Após definir esses parâmetros, o decisor estimou o valor dos projetos em cada critério e o consumo nos recursos restritivos, sendo determinado o custo de cada projeto para a restrição de “Recurso financeiro” (R1) e a duração em horas para a restrição de “Recurso humano” (R2).

Para o mapeamento das interdependências entre os projetos conforme descrito na etapa 4 do modelo, foram feitas quatro reuniões com o decisor, cada uma com duração entre uma e duas horas. Nessas reuniões, efetuou-se a comparação par a par em todos os critérios e recursos, onde inicialmente o decisor identificava se existia uma relação, e em caso afirmativo, ele estimava o seu valor. Por exemplo, no critério “Qualidade”, os projetos P1 e P9 possuem desempenhos 4 e 3, mas quando selecionados juntos, melhoram suas contribuições neste critério de forma que seus desempenhos passam a ser 5 e 4, ou seja, há um incremento de uma categoria de qualidade para cada projeto devido à interação entre eles. Outro exemplo pode ser notado na restrição de “Recurso financeiro”, no qual se identificou uma sinergia entre P1 e P2 de -200. Os dados do estudo de caso podem ser verificados no Apêndice A.

Com essas etapas efetuadas, em seguida realizou-se o preenchimento dos dados, a importação da planilha e a geração dos portfólios viáveis não dominados (etapa 5) no  $\pi$ -DSS. Vale ressaltar que nos dados não foi observado nenhuma interdependência que gerava projetos não monotônicos, logo PNM é vazio e só foi realizado um ciclo do procedimento da árvore. A Tabela 5 apresenta o resultado.

Tabela 5 - Portfólios não dominados gerados pelo  $\pi$ -DSS

Nº	Portfólio	Retorno financeiro	Sucesso	Qualidade	Con. Rec. 1	Con. Rec. 2
1	[0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0]	800	0,85	3	750	220
2	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0]	400	0,86	2	1200	150
3	[0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	100	0,88	1	1200	80
4	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	2000	0,78	2	1500	500
5	[0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	2800	0,663	2,5	2250	720
6	[0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	2100	0,6864	1,5	2700	580
7	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1]	2400	0,6708	2	2700	650
8	[0,0,1,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0]	1500	0,68	3	3750	480
9	[0,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0]	1200	0,738	4	4000	360
10	[0,0,1,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0]	2000	0,6273	3,67	4750	580
11	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1]	2900	0,624	2,5	4500	760
12	[0,0,1,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1]	3700	0,5304	2,67	5250	980
13	[0,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1]	3400	0,5756	3,33	5500	860
14	[0,0,1,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1]	4200	0,4893	3,25	6250	1080

15	[0,1,1,0,0,1,0,0,1,0,0,1]	4300	0,4306	2,8	7450	1160
16	[0,0,1,0,0,1,0,0,1,1,0,1]	4600	0,4208	3	7450	1230
17	[0,0,1,0,1,1,0,0,1,1,0,1]	4850	0,3577	2,83	8000	1400
18	[0,0,1,0,1,1,0,0,1,1,1,1]	5100	0,2933	2,86	8900	1480
19	[0,1,1,0,0,1,0,0,1,1,0,1]	4700	0,3703	2,67	8650	1310
20	[0,1,1,0,1,1,0,0,1,1,0,1]	4950	0,3148	2,57	9200	1480
21	[0,1,1,0,1,1,0,0,1,1,1,1]	5200	0,2581	2,62	10100	1560
22	[0,1,1,0,0,1,0,1,1,1,1,1]	5250	0,2429	2,5	10450	1790
23	[0,0,1,1,0,1,0,0,1,0,0,1]	4500	0,4012	3,2	14250	1540
24	[0,0,1,1,0,1,0,0,1,0,1,1]	4750	0,329	3,17	15150	1660
25	[0,0,1,1,0,1,0,0,1,1,0,1]	4900	0,3451	3	15450	1690
26	[0,0,1,1,0,1,0,0,1,1,1,1]	5150	0,2829	3	16350	1770
27	[0,1,1,1,0,1,0,0,1,1,0,1]	5000	0,3036	2,71	16650	1770
28	[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	1000	0,78	4	15000	320
29	[1,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	1800	0,663	3,5	15750	540
30	[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	3000	0,6084	3	16500	820
31	[1,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	3800	0,5171	3	17250	1040
32	[1,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0,1]	4300	0,3879	3,25	18250	1140
33	[1,0,1,0,0,1,0,0,0,0,1,1]	4550	0,318	3,2	19150	1260
34	[1,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0]	1700	0,624	4,5	18000	500
35	[1,0,1,0,0,0,0,0,1,0,0,0]	2500	0,5304	4	18750	720
36	[1,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0]	2200	0,5756	4,67	19000	600
37	[1,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,0]	3000	0,4893	4,25	19750	820
38	[1,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1]	3900	0,4867	3,67	19500	1000

Fonte: Autora (2023)

Através da geração de portfólio, foram encontrados 38 portfólios viáveis não dominados. Os dados permitem a observação dos projetos selecionados, os valores nos critérios e nos recursos dos portfólios. Após a geração, esses 38 portfólios passaram a ser as alternativas para a avaliação multicritério.

Conforme a etapa 6 do modelo, os parâmetros do modelo aditivo com veto para a problemática de escolha foram primeiramente definidos consoante as preferências do decisor e introduzidos no  $\pi$ -DSS (Figura 13). Em seguida, foram calculados os valores globais dos portfólios viáveis não dominados, conforme mostrado na Tabela 6.

Figura 13 - Parâmetros do modelo aditivo com veto para escolha do estudo de caso

	Retorno financeiro	Sucesso	Qualidade
<b>Constante de escala:</b>	0,33	0,45	0,22
<b>Limiar inferior:</b>	2000	0,4	2
<b>Limiar superior:</b>	3500	0,7	3

Fonte: Autora (2023)

Tabela 6 - Resultado do modelo aditivo com veto para escolha do portfólio

Alternativa	Portfólio	Valor global
13	[0,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0,1]	0,3202
30	[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	0,2611
31	[1,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	0,2149
14	[0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,1]	0,1702
38	[1,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1]	0,1664
12	[0,0,1,0,0,0,0,0,1,0,0,1]	0,1555
5	[0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	0,1308
11	[0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1]	0,1206
37	[1,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,0]	0,1101
35	[1,0,1,0,0,0,0,0,1,0,0,0]	0,0778
36	[1,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0]	0,046
15	[0,1,1,0,0,1,0,0,1,0,0,1]	0,0416
16	[0,0,1,0,0,1,0,0,1,1,0,1]	0,037
23	[0,0,1,1,0,1,0,0,1,0,0,1]	0,0021
1	[0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	0
2	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0]	0
3	[0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	0
4	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	0
6	[0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	0
7	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1]	0
8	[0,0,1,0,0,0,0,0,1,0,0,0]	0
9	[0,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0]	0
10	[0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,0]	0
17	[0,0,1,0,1,1,0,0,1,1,0,1]	0
18	[0,0,1,0,1,1,0,0,1,1,1,1]	0
19	[0,1,1,0,0,1,0,0,1,1,0,1]	0
20	[0,1,1,0,1,1,0,0,1,1,0,1]	0
21	[0,1,1,0,1,1,0,0,1,1,1,1]	0
22	[0,1,1,0,0,1,0,1,1,1,1,1]	0



24	[0,0,1,1,0,1,0,0,1,0,1,1]	0
25	[0,0,1,1,0,1,0,0,1,1,0,1]	0
26	[0,0,1,1,0,1,0,0,1,1,1,1]	0
27	[0,1,1,1,0,1,0,0,1,1,0,1]	0
28	[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	0
29	[1,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	0
32	[1,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0,1]	0
33	[1,0,1,0,0,1,0,0,0,0,1,1]	0
34	[1,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0]	0

Fonte: Autora (2023)

Como pode ser observado, a melhor alternativa é a de número 13 com valor global de 0,3202, sendo ela composta pelos projetos 6, 9 e 12. Essa alternativa teve os seguintes valores: 3400 no critério “Retorno financeiro”, 0,5756 no critério “Sucesso”, 3,33 no critério “Qualidade”, 5500 no “Recurso financeiro” e 860 no “Recurso humano”. Ademais, dentre esses projetos existe uma interação de 200 entre P9 e P12 no critério “Retorno financeiro”, uma modificação de valores entre os projetos P6 e P9 dos valores originais 0,75 e 0,8 para respectivamente 0,82 e 0,9 no critério “Sucesso” e uma contribuição de 0 e 1 em relação aos valores originais de 4 e 3 de P6 e P9 no critério “Qualidade”.

Para avaliar se essa permanecia como a melhor alternativa mesmo variando as constantes de escala, foi realizado uma análise de sensibilidade Monte Carlo (etapa 7). Os parâmetros da análise são mostrados na Figura 14.

Figura 14 - Parâmetros da análise de sensibilidade

## PARÂMETROS

### Análise de sensibilidade

**Quantidade de análises:**

1000000

**Variação das constantes de escala (%):**

20

Sair

Salvar

Fonte: Autora (2023)

A análise foi efetuada 1000000 de vezes, com variação das constantes de escala de  $\pm 20\%$ . O resultado é exibido na Figura 15.

Figura 15 - Resultado da análise de sensibilidade

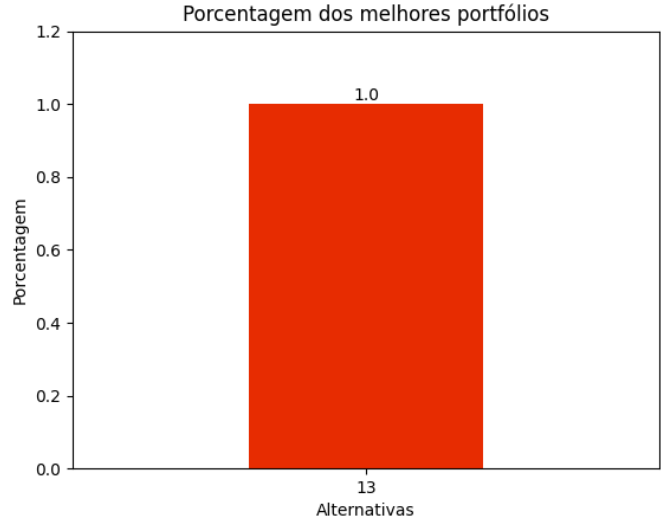
**VARIAÇÃO DO MELHOR PORTFÓLIO**

	Nº da alt	Quant de vezes	Portfólio
1	13	1000000	[0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1]

Fonte: Autora (2023)

Conforme pode ser visto na Figura 15, em 100% dos casos a alternativa 13 obteve o maior valor global. Por conseguinte, avaliando os resultados (etapa 8), devido à permanência dessa alternativa mesmo variando os cenários, essa mostra-se ser o melhor portfólio. O resultado de variação de portfólio também pode ser analisado no Gráfico 9.

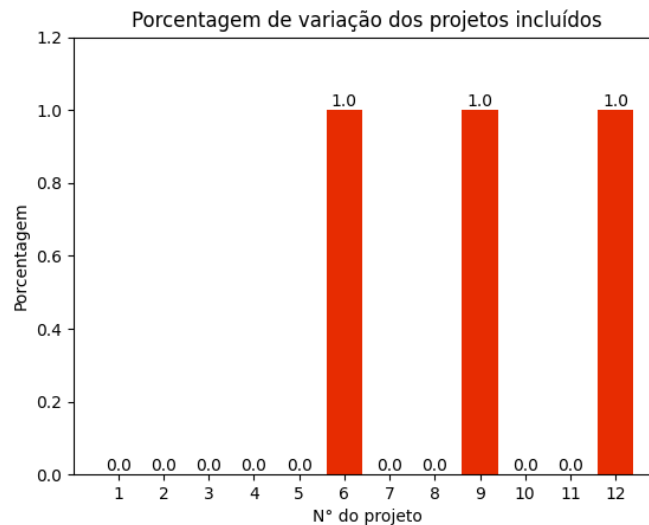
Gráfico 9 - Variação dos portfólios



Fonte: Autora (2023)

Além disso, como apenas a alternativa 13 foi apontada na análise de sensibilidade, em 100% dos casos os projetos selecionados foram o 6, 9 e 12, conforme apontado no Gráfico 10. Posteriormente, o estudo de caso finalizou com a proposição de resultados para o decisor (etapa 9), onde foi apontado a alternativa 13 como a mais indicada segundo as suas preferências.

Gráfico 10 - Variação dos projetos selecionados



Fonte: Autora (2023)

A seguir, demais observações e resultados do modelo proposto serão explorados.

## 6.2 Discussão dos resultados

Ao aplicar o modelo para a seleção de portfólio de projetos com interações em uma confecção do agreste pernambucano, como mapeou-se 12 projetos candidatos, o número máximo de portfólio seria de 4096 ( $2^{12}$ ). Entretanto, foram encontrados 2168 portfólios viáveis por causa das restrições de custo e tempo do problema, ou seja, apenas cerca de 53% das combinações respeitavam as disponibilidades de recursos. Dentre esses portfólios viáveis, durante a análise de dominância, apenas cerca de 1,75%, isto é, 38 deles, eram não dominados.

Analisando quanto ao veto, 24 das 38 alternativas tiveram desempenhos menores do que o limiar inferior de veto em pelo menos um dos critérios, ocasionando que o índice de veto e consequentemente o valor global delas fossem zero. Já a alternativa 13 foi penalizada em virtude dos seus valores nos critérios “Retorno financeiro” e “Sucesso” estarem entre os limites de veto, porém ela ainda teve o maior valor global em relação as demais alternativas.

Logo, os resultados da alternativa apontada como a melhor mostraram um desempenho mediano no critério “Sucesso”, pelo valor de 0,5756 estar entre o limiar inferior e superior de veto, desempenho quase desejável no critério “Retorno financeiro” pois 3400 estar muito próximo do limiar superior de veto e resultado satisfatório no critério “Qualidade”, pelo desempenho ter sido maior do que o valor do limiar superior. Em relação ao consumo de “Recurso financeiro” e “Recurso humano”, o portfólio consome respectivamente 27,5% e 48%.

Portanto, o decisor conseguirá bons resultados, segundo as suas preferências, com essa alternativa e gastará menos recursos do que o disponível.

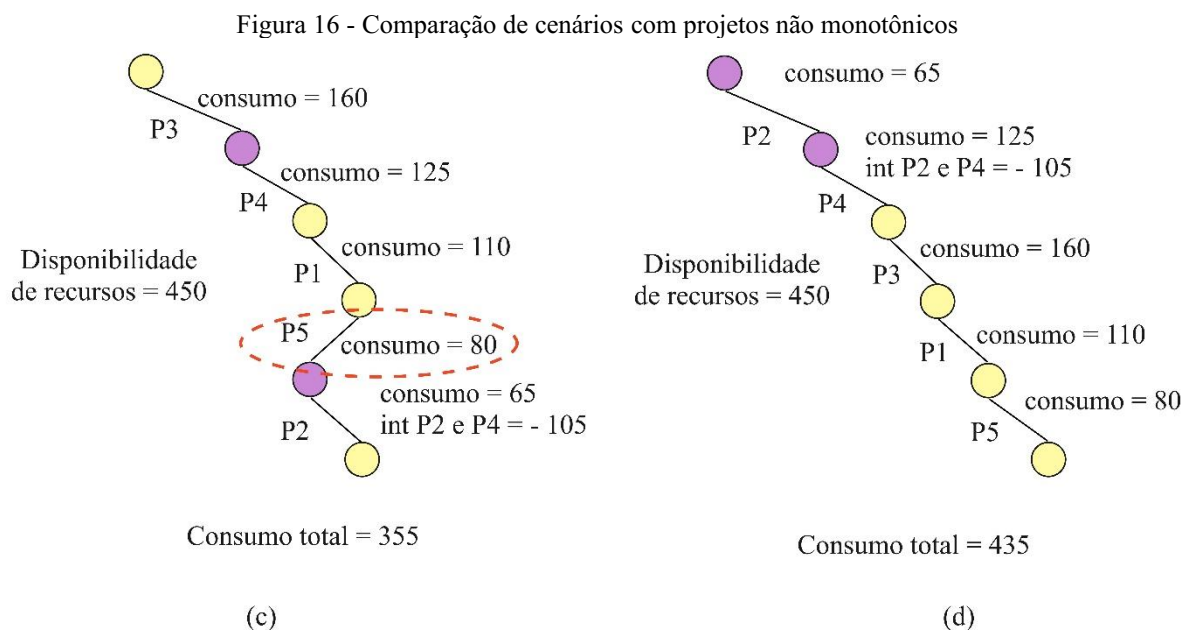
Outro ponto interessante são as interações entre os projetos. Através do debatido nos Capítulos 2 e 3, existe uma percepção na literatura que as interações são inerentes ao processo de seleção de portfólio e impactam os resultados encontrados, todavia não existe um número expressivo de estudos que tratem de seleção de portfólio de projetos com interação. Dessa forma, com o intuito de investigar mais sobre as interdependências entre os projetos no estudo de caso, realizou-se uma nova aplicação que não incorporava as interações existentes, porém com os mesmos outros parâmetros.

Os resultados mostraram que a alternativa 13 apontada como a melhor não consistiu em um portfólio viável não dominado, possivelmente devido boa parte das interações nos critérios identificadas pelo decisor serem entre os projetos desse portfólio. Ademais, como essa combinação respeita as restrições de recursos, possivelmente o que ocorreu foi que ela passou a ser dominada por algum outro portfólio.

A alternativa apontada como a melhor no modelo aditivo com veto nesse novo teste foi um portfólio composto pelos projetos 1 e 12, com valor global de 0,2845. A comparação entre esses cenários demonstra que além de tornar o problema mais semelhante com a realidade, o resultado da alternativa 13 foi superior em 12% em relação ao cenário sem interações. Ademais, foi visto na análise de dominância que o resultado recomendado não é muito sensível em relação à variação das constantes de escala, permanecendo o mesmo em 100% dos casos.

Um ponto importante que vale ser destacado sobre o procedimento da Árvore de Busca é que, como descrito no Capítulo 4, ela foi formulada tanto para os casos com projetos monotônicos como não monotônicos. É importante esta distinção e procedimento de análise no começo da árvore para a simplificação das análises durante o processo e para permitir a construção de todos os portfólios viáveis possíveis. A Figura 18 demonstrar que dependendo da ordem de projetos não monotônicos são adicionados na árvore, possíveis erros podem acontecer.

Supondo, por exemplo, um caso em que existe dois projetos não monotônicos (P2 e P4) dentre cinco projetos candidatos. Conforme descrito no modelo, os projetos são adicionados segundo o impacto no recurso crítico. No caso (c), supondo que não exista a determinação dos projetos não monotônicos de antemão, podemos constatar pela Figura 16 que no nível 4 da árvore, não existiam recursos suficientes para adicionar P5 (80), porque o consumo total estava em 395.



Fonte: Autora (2023)

Seguindo para o próximo nó, na análise de P2, em razão da interação dele com o projeto P4, esse poderia ser adicionado e considerando o seu consumo e valor da interação, a soma de recurso seria de 355. Além disso, existiria uma folga de recurso o suficiente para adicionar P5 e o consumo total (435) ainda seria inferior à disponibilidade. Porém, esse portfólio composto por todos os projetos não seria construído caso não fosse previsto análises adicionais durante o procedimento da árvore para identificar interações que geravam a não monotonicidade no consumo de recurso.

Para permitir a construção de todos os portfólios viáveis possíveis e para simplificação durante a construção desses, foi estipulado no modelo a análise dos projetos não monotônicos e introdução desses nos primeiros ramos da árvore, pois já seria conhecido desde o início a real disponibilidade de recurso em decorrência às especificidades desses projetos. O cenário (d) demonstra como é realizada a construção quando existem projetos não monotônicos, onde para o caso com o portfólio intermediário quando os dois entram, a disponibilidade de recurso menos os seus consumos são de 365 devido à interação entre eles. Logo, esse é o valor tomado como base para o procedimento da árvore, sendo esse o suficiente para que um dos portfólios viáveis gerados a partir dele, seja o formado também por P1, P3 e P5.

Além do estudo de caso, para analisar o desempenho da árvore de busca, também foram efetuadas simulações com dados aleatórios com intuito de investigar o tempo médio do processamento. A cada caso testado, era variado o número de projetos, critérios e restrições, sendo realizadas 10 iterações para cada. Esses testes foram realizados em um computador com

uma unidade de processamento Intel Core i7-4790 com frequência de 3.60 GHz, memória RAM de 8 GB, unidade de armazenamento com disco rígido de 1 TB de capacidade e sistema operacional Windows de 64 bits.

Na geração de dados para cada iteração, determinavam-se aleatoriamente os tipos dos critérios, as suas direções e densidades de interação, sendo que essa poderia ser de 5% a 10%. Para critérios “Tipo 1”, os valores dos projetos variavam uniformemente de 100 a 200 e os valores das interações poderiam ser de -30 a 30. Já para critérios “Tipo 2”, foram previstas variações percentuais de 0,8 a 1 e novas contribuições de 0,75 a 0,95 para os projetos com interações. Para critérios “Tipo 3”, foi estabelecido uma escala de cinco níveis, logo os valores dos projetos poderiam estar entre 1 e 5 e as contribuições devido às interações poderia ser de -1 a 2 para os projetos. Em especial para o “TIR”, só era permitido existir um critério desse tipo e a sua direção era obrigatoriamente de maximização, bem como não foram estimadas interdependências entre projetos conforme descrito no modelo.

Em relação à geração dos dados de recursos para o caso com projetos monotônicos, o valor do consumo de projetos em cada recurso poderia variar entre 100 e 200, a densidade de interdependências também poderia ser de 5% a 10% e os seus valores eram estimados em -40 a 40, sendo esses valores determinados para garantir que nenhum projeto fosse do tipo não monotônico. Além disso, para determinar a disponibilidade do recurso, somava-se o consumo total de todos os projetos e o valor máximo do recurso disponível era entre 40% e 70% desse somatório.

Determinado os parâmetros, seguiu-se para o procedimento da Árvore de Busca. Ressalta-se que foram usados dados simulados e os tempos apresentados são uma média das 10 interações, logo dependendo dos parâmetros, os valores podem ser diferentes. A Tabela 7 exhibe os resultados para o caso com projetos monotônicos, sendo apresentados em segundos (s), minutos (min) ou horas (h) para facilitar a identificação do tempo de duração.

Pode-se ver que para os casos com 10 projetos, ou seja, máximo de 1024 portfólios, que neles todos o tempo médio de duração foi menor do que um segundo. Já para os casos com 15 projetos (máximo de 32768 portfólios), os testes demoram menos do que um minuto. Portanto, para casos mais simples compostos por menos projetos, o procedimento é efetuado de maneira muito rápida.

Tabela 7 - Resultados dos testes com projetos monotônicos

		Nº de restrições		
Nº de projetos	Nº de critérios	1	2	3
10	3	0,25 s	0,21 s	0,26 s
	5	0,37 s	0,37 s	0,36 s
15	3	13,44 s	9,93 s	12,02 s
	5	32,85 s	19,76 s	17,61 s
20	3	9,98 min	8,48 min	10,4 min
	5	30,50 min	23,50 min	37,47 min
25	3	7,30 h	11,80 h	6,44 h
	5	23,32 h	23,64 h	13,1 h

Fonte: Autora (2023)

Quando o número de projetos cresce para 20, ou seja, com máximo de 1048576 projetos, é percebido um aumento na duração dos testes. Para os casos com três critérios, o tempo médio é cerca de 8 a 11 minutos, a depender do número de restrições. Para cinco critérios, a duração média ficou entre 23 e 38 minutos. O tempo médio se torna maior em razão à característica de crescimento exponencial do problema de portfólio de acordo com o número de projetos. Por exemplo um problema de 20 projetos tem 32 vezes mais possíveis combinações do que um problema de 15 projetos.

Observando o resultado para cada número de projetos em relação ao acréscimo no número de critérios, o processo acaba se tornando mais demorado devido a necessidade do cálculo de resultados de mais critérios. Outro ponto é que o aumento no número de critérios gera mais portfólios não dominados, portanto, isso exige um maior esforço computacional porque o portfólio viável encontrado tem que ser comparado na análise de dominância com um número maior de portfólios viáveis não dominados.

Analisando a duração média em relação ao número de restrições, para os casos com 10 projetos, não existe uma diferença muito grande entre eles em valor absoluto, possivelmente o

número de projetos ser relativamente pequeno e conseqüentemente, os processamentos serem muito rápidos.

Para 15 projetos, pode-se perceber que a duração média para dois e três recursos é menor do que para um. Isso ocorre em conseqüência à análise de recurso crítico e projeto crítico, pois quando ramos mais próximos do nó inicial da árvore são cortados, verificações adicionais não necessárias são evitadas.

Outro ponto percebido foi a não monotonicidade da duração dos testes em relação ao número de restrições. Com a restrição de um recurso, parte dos possíveis portfólios deixam de ser viáveis por causa do valor limitado dele. Com dois recursos, alguns outros portfólios, fora aqueles que já são inviáveis em decorrência à primeira restrição (interseção entre as duas restrições), também podem ser inviáveis por ação da segunda limitação de recurso. Assim, menos portfólios viáveis são gerados, exigindo menos esforço durante a análise de dominância. Porém, para o caso com três recursos, possivelmente a interseção dos portfólios eliminados entre as três restrições é maior, portanto, ela não contribui tanto na eliminação de portfólios inviáveis.

O que se nota é que a redução marginal de portfólios viáveis diminui com o aumento do número de restrições o que significa que também há uma menor redução marginal do esforço computacional requerido, no entanto, o esforço computacional para calcular a restrição e o projeto crítico aumenta linearmente com a adição de restrições.

Para os testes com 25 projetos, o número máximo de portfólios pode chegar a 33554432, por conseqüência o tempo de processamento foi superior aos casos com menos projetos. Dessa forma, para três critérios e variando o número de restrições, as durações de tempo foram entre 6 e 12 horas e para cinco critérios, entre 13 e 24 horas. Vale ressaltar também que foi observado um comportamento diferente em relação aos casos anteriores. A duração média para os casos com duas restrições foi maior do que para os casos com uma e três restrições, sendo esse último tanto para três e cinco critérios, o menor tempo encontrado na faixa de 25 projetos. Como os dados são simulados e devido o número expressivo de combinações possíveis, o que pode ter acontecido é que para números maiores de projetos, um maior número de restrições contribui mais na eliminação de alternativas dominadas, deixando assim o processo mais rápido. A fim de investigar mais sobre esse desempenho e o comportamento esperado em problemas maiores, mais testes são necessários.

Quanto ao caso com projetos não monotônicos, a geração de dados para os critérios foi semelhante. Entretanto, para os recursos os valores das interações deveriam ser diferentes para garantir que dois desses projetos fossem não monotônicos. Por conseqüência, o consumo de



projetos era entre 200 e 300, com densidade de interação de 5% a 10% com valores de interações entre -40 a 40. Entretanto, para uma relação entre um par de projetos, o valor da interdependência era pelo menos maior do que o máximo permitido de consumo de um projeto, sendo essa podendo variar de -350 a -310. Foi escolhido realizar o teste com apenas um par de projetos não monotônicos porque, na prática, cenários com valores de interações superiores ao consumo dos projetos, ou seja, que geram projetos não monotônicos, são ocasiões mais raras. Ademais, isso tem mais chance de acontecer conforme se aumenta o número de projetos, entretanto para não descartar sua ocorrência, também foi testado para instâncias com menos projetos. Os resultados dos testes para esse cenário são exibidos na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados dos testes com projetos não monotônicos

		Nº de restrições		
Nº de projetos	Nº de critérios	1	2	3
10	3	0,22 s	0,27 s	0,37 s
	5	0,5 s	0,38 s	0,4 s
15	3	19,43 s	11,47 s	15,22 s
	5	42,37 s	35,67 s	28,06 s
20	3	10,01 min	12,16 min	12,71 min
	5	28,93 min	24,5 min	24,78 min
25	3	9,95 h	8,00 h	8,22 h
	5	23,06 h	13,43 h	20,79 h

Fonte: Autora (2023)

Nos casos com 10 projetos, as durações médias foram menores do que um segundo e para 15 projetos, os tempos médios foram inferiores a um minuto, sendo esse comportamento semelhante na simulação com projetos monotônicos.

Quanto ao caso com 20 projetos e com três critérios, o intervalo de duração média ficou entre 10 e 13 minutos e com cinco critérios, o resultado foi cerca de 24 a 29 minutos. Esses tempos, em maneira geral, foram apenas um pouco maiores do que para os testes com projetos

monotônicos, menos para os casos de 20 projetos e cinco critérios, sendo que para a simulação realizada, o intervalo de tempo para esse caso foi um pouco inferior.

Analisando os casos com a variação do número de critérios, assim como para a simulação para projetos monotônicos, à medida que se aumenta esse valor, o tempo médio de duração do processo aumenta. Em relação ao número de restrições, para 10 projetos e três critérios, o tempo para três restrições foi maior do que para apenas uma ou duas.

Já para 10 projetos com cinco critérios e 15 projetos com três critérios, o comportamento foi semelhante aos casos para os projetos monotônicos. Logo, dentre os três casos, o com maior tempo foi para um recurso e o menor para dois recursos. Para o caso com 15 projetos e cinco critérios, o menor tempo nessa simulação foi quando existiu três restrições. Observando os resultados de 20 projetos, os tempos nos casos de dois e três restrições foram muito próximos, sendo para três critérios um pouco superior e para cinco critérios inferior ao caso com apenas uma restrição.

Para 25 projetos, ao contrário dos testes com o mesmo número de projetos com todos eles sendo monotônicos, foi observado um comportamento diferente a eles, visto que para os testes de 25 projetos no contexto não monotônico, os casos com duas restrições foram os mais rápidos. Assim sendo, esse comportamento foi semelhante ao que estava sendo verificado na maioria das outras simulações, sendo que os testes com três restrições tiveram desempenhos de tempo intermediário e os mais demorados foram os para uma restrição. Em especial para cinco critérios e duas restrições, a duração média foi bastante inferior do que para os outros números de restrições da faixa.

Vale se destacar que na simulação efetuada, foram determinados que apenas dois projetos seriam não monotônicos. Por conseguinte, em casos com mais projetos não monotônicos, serão realizados mais testes para analisar a duração do procedimento da árvore.

## 7 CONCLUSÃO

Conforme discutido no decorrer do estudo, um portfólio possui forte impacto nos resultados das organizações. Logo, a seleção de portfólio de projetos é de extrema importância para garantir que as metas estratégicas sejam alcançadas. Todavia, essa é uma atividade complexa, principalmente quando a avaliação é baseada em múltiplos objetivos e interações entre projetos são incorporadas, sendo essas relações fundamentais para a economia de recursos e geração de valor. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo principal desenvolver um modelo de seleção multicritério de portfólio de projetos com interações nos critérios e recursos do problema.

A RSL possibilitou o aprofundamento do tema e identificação de evidências dos artigos. Dentre as principais contribuições desse estudo está o mapeamento dos estudos da área desde o primeiro trabalho publicado até artigos mais atuais, além de observar questões como o uso de diversos métodos diferentes em contextos variados e as distintas segmentações dos tipos de interações utilizadas pelos autores.

Baseado na fundamentação teórica, na RSL e nas etapas do *framework* para resolução de problemas multicritério, elaborou-se o modelo proposto, composto por nove etapas. Seguindo-se elas, o modelo permite a identificação de todas as combinações de projetos, verifica a viabilidade e dominância dos portfólios, permitindo a escolha da melhor alternativa e análise de sensibilidade do resultado.

Esse modelo é interessante porque não é limitado para seleção multicritério de portfólio de projetos no ramo de confecção, ele pode ser aplicado em diversos contextos como P&D, TI etc. Também pode incorporar diversos tipos de critérios, recursos e interações entre os projetos. Por conseguinte, proporciona uma metodologia estruturada para o decisor e uma maior garantia que o resultado seja o mais adequado ao contexto de aplicação, segundo suas preferências.

Especificamente sobre a Árvore de Busca, destaca-se que com a determinação do ICR e ICP, a tarefa de escolha do projeto permite que os projetos com mais impacto no recurso crítico sejam selecionados primeiro para a análise no processo de construção do portfólio. Isso ocasiona que o portfólio que está sendo construído tenha o recurso crítico consumido mais rapidamente, cortando assim, ramos mais superiores da árvore e evitando a análise de nós posteriores a esse ramo. Por conseguinte, um corte em um ramo superior equivale a vários cortes em ramos inferiores, pois ao invés de fazer mais cortes nos ramos mais baixos da árvore, realiza-se de uma só vez mais acima.

Além disso, elaborou-se funções de agregação para os critérios, porque dependendo do que eles buscam medir, os resultados de algumas maneiras de agregação poderiam não ter um significado adequado. Exemplo de um critério onde o desempenho dos projetos seja baseado em probabilidade, uma soma dos projetos incluídos no portfólio não seria o mais coerente, já que esse valor poderia ser superior a 100%. Ressalta ainda que estes tipos de critérios dificultariam o uso de abordagens comuns de programação linear mista ao incorporar não linearidade ao modelo, já o uso da Árvore de Busca supera esta dificuldade.

Também foi debatido no Capítulo 3 que um pouco mais da metade dos estudos identificados na RSL utilizavam algum método multicritério. Com relação a isso, outro benefício da árvore é que após gerar os portfólios viáveis não dominados e caso o usuário tenha utilizado mais de um critério, essas se tornam as alternativas de um problema multicritério e o analista, seguindo a racionalidade e preferências do decisor, pode optar por outros métodos multicritérios. Assim, caso seja identificado uma racionalidade não compensatória, eles possuem a opção de usar métodos como o ELECTRE e PROMETHEE. Ou caso o decisor tenha uma racionalidade compensatória, pode-se usar o modelo aditivo tradicional transferindo a matriz de consequências dos portfólios viáveis não dominados do  $\pi$ -DSS para outros softwares como o do FITradeoff para escolha. Portanto, com base na Árvore de Busca, podem ser feito diversos estudos com cenários e métodos multicritério distintos.

Salienta-se também que a análise de dominância permitiu uma redução drástica na quantidade de alternativas para a análise multicritério. Nesse sentido, a grande vantagem de realizar ela é que, como pode existir um número grande de portfólios mesmo após a análise de viabilidade, a eliminação de portfólios dominados auxilia no processo de decisão. Ela permite que decisor possa analisar e comparar as alternativas entre si, de maneira mais simples. Também possibilita a realização de cálculos de maneira mais rápida durante a aplicação do método multicritério, sendo isso especialmente importante para métodos que fazem a comparação par a par de alternativas. A análise de dominância gera um impacto principalmente na análise de sensibilidade, pois como são rodados diversos casos repetidamente, ao considerar menos alternativas, o tempo de execução se torna menor.

Além dessas vantagens, existe uma economia de tempo quando o modelo é usado por meio do  $\pi$ -DSS desenvolvido. Ele auxilia no processo de resolução do problema por ter a Árvore de Busca, um método multicritério e análise de sensibilidade já programados. Destaca-se que, ele foi desenvolvido para facilitar o processo de resolução do problema, sendo apresentado ao usuário de maneira simples e intuitiva. Também conta com um manual de uso, onde o usuário pode retirar possíveis dúvidas e observar o passo a passo da sua utilização. O  $\pi$ -

DSS também permite a fácil visualização dos resultados por tabelas e gráficos, bem como possui a opção de exportá-los para salvar as informações.

É importante ressaltar ainda que as constantes de escala e os limiares devem ser elicidadas depois da geração dos portfólios viáveis não dominados, uma vez que é a partir deste conjunto que será obtida a escala de desempenhos do problema de escolha construído a partir da Árvore de Busca, o que permite considerar uma visão ampla e global do problema de portfólio e não uma perspectiva local dos projetos. Relacionado a esse ponto, uma questão interessante do  $\pi$ -DSS é que as constantes de escala são adicionadas consoante o processo de elicitação mais conveniente para o decisor. Assim, o usuário pode escolher utilizar, por exemplo, o SMARTER, SMARTS ou qualquer outro procedimento mais adequado a situação. Por causa desses pontos, o tomador de decisão e pesquisadores podem usufruir dessa ferramenta tanto para amparar o processo de seleção de portfólios nas empresas, como para elaboração de estudos científicos.

Como pode ser observado na análise dos resultados da simulação, para problemas mais simples e do cotidiano de muitas empresas de pequeno e médio porte, com um número de projetos relativamente baixo de 10 a 20 projetos, o procedimento da árvore é realizado de maneira rápida, tanto para os casos com projetos monotônicos e não monotônicos. Ademais, dependendo dos parâmetros e do computador utilizado, pode ser que o processo seja realizado de maneira ainda mais rápida do que o demonstrado nesse estudo. Observou-se também que os testes iniciais apontam que não existe um grande prejuízo no processamento para os casos com projetos não monotônicos, já que o tempo foi semelhante aos casos com apenas projetos monotônicos. Entretanto, para se investigar mais o impacto dos projetos não monotônicos e testar cenários com mais projetos desse tipo, almeja-se realizar mais testes de desempenhos específicos para esses casos. Portanto, destaca-se que apesar do desempenho satisfatório do procedimento da Árvore de Busca, serão efetuados mais testes para avaliar de maneira mais aprofundada o desempenho da árvore, tanto para os casos com projetos monotônicos, projetos não monotônicos e aumentando-se o número de projetos, critérios e restrições.

Também foi visto o funcionamento do modelo através do estudo de caso realizado em uma empresa de confecções infantis do agreste pernambucano. Com base nos critérios e recursos limitantes identificado pelo decisor, bem como pela definição dos 12 projetos candidatos, suas interações e parâmetros do método multicritério, foi possível determinar que o melhor portfólio era o composto pelos projetos 6, 9 e 12. Esse mostrou-se ser a melhor alternativa mesmo com a variação de constantes de escalas durante a análise de sensibilidade.

Portanto, esse foi o portfólio recomendado para o decisor implantar na organização, sendo que ele se mostrou bastante satisfeito com o processo e com o resultado. Logo, mesmo tendo sido uma aplicação em uma empresa de pequeno porte no interior do estado, ela permitiu ao dono refletir mais sobre os projetos, compreender a importância do gerenciamento de portfólio e de metodologias estruturadas que auxiliem na definição do portfólio. Ressalta-se, portanto, a importância de estudos que amparem as instituições no processo de decisão, melhorando as operações e ajudando que os objetivos organizações sejam alcançados, permitindo o desenvolvimento local e regional do mercado.

Conforme identificado na literatura e na discussão de resultados que as interações afetam os resultados do portfólio, destaca-se a relevância da introdução dessas relações e da existência de modelos que se proponham a incorporar essas relações durante a construção dos portfólios de projetos. Ademais, para o problema de portfólio, essa é uma tomada de decisão que impacta diversas áreas e objetivos empresariais distintos, em muitos casos contraditórios, logo é importante que seja avaliado e construído com bases em múltiplos critérios.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação do modelo em outros tipos de empresas, com critérios e recursos diferentes, bem como a realização de mais testes de desempenho do procedimento de Árvore de Busca. Além disso, pode ser implementado no  $\pi$ -DSS outros métodos multicritério.

## REFERÊNCIAS

- AAKER, D. A.; TYEBJEE, T. T. A model for the selection of interdependent R&D projects. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 25, n. 2, p. 30-36, 1978. doi: 10.1109/TEM.1978.6447279.
- ABBASI, D. et al. A multi objective-BSC model for new product development project portfolio selection. **Expert Systems with Applications**, v. 162, 113757, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113757>.
- ABBASSI, M. et al. Selecting balanced portfolios of R&D projects with interdependencies: A Cross-Entropy based methodology. **Technovation**, v. 34, p. 54-63, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2013.09.001>.
- AFANASYEV, V. Y et al. An Optimal Electronic Project Portfolio under Conditions of Uncertainty and Interactions between Projects. **Industrial Engineering and Management Systems**, v. 20, n. 4, p. 536-547, 2021.
- AKRAM, M. et al. An integrated ELECTRE-I approach for risk evaluation with hesitant Pythagorean fuzzy information. **Expert Systems with Applications**, v. 200, 116945, 2022.
- ALBANO, T. C. L. et al. Proposal and Solution of a Mixed-Integer Nonlinear Optimization Model That Incorporates Future Preparedness for Project Portfolio Selection. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 68, n. 4, p. 1014-1026, 2021. <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2920331>.
- ALIPOUR, M. et al. A new Pythagorean fuzzy-based decision-making method through entropy measure for fuel cell and hydrogen components supplier selection. **Energy**, v. 234, 121208, 2021.
- ALMEIDA, A. T., DUARTE, M. D. A multi-criteria decision model for selecting project portfolio with consideration being given to a new concept for synergies. **Pesquisa Operacional**, v. 31, p. 301–318, 2011.
- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013.
- ALMEIDA, A. T. et al. Scaling issues in additive multicriteria portfolio analysis. In: DARGAM, F et al. **Decision Support Systems III-Impact of Decision Support Systems for Global Environments**. Springer International Publishing, 2014, p. 131-140.
- ALVAREZ-GARCÍA, B.; FERNÁNDEZ-CASTRO, A. S. A comprehensive approach for the selection of a portfolio of interdependent projects. An application to subsidized projects in Spain. **Computers and Industrial Engineering**, v. 118, p. 153-159, 2018.
- AMIRI, M. P. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 9, p. 6218–6224, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.02.103>

AMIRIAN; H.; SAHRAEIAN, R. A hybrid integer grey programming for an integrated problem of project selection and scheduling with interval data. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 35, n. 4, p. 1-15, 2018.

ANANTATMULA, V. S. Project Manager Leadership Role in Improving Project Performance. **Engineering Management Journal**, v. 22, n. 1, p. 13–22, 2010.

ANYAECHE, C. O., OKWARA, R. A. An Integer Linear Programming Model for Project Portfolio Selection in a Community. **International Journal of Engineering Research in Africa**, v. 4, p. 67–74, 2011. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.4.67>.

ARCHER, N.; GHASEMZADEH, F. An integrated framework for project portfolio selection. **International Journal of Project Management**, v. 17, n. 4, p. 207–216, 1999. doi: 10.1016/s0263-7863(98)00032-5.

ARCHIBALD, R. D. **Managing high-technology programs and projects**. 3. ed. New York: Wiley, 2003.

ARIFIN, R. et al. Dynamic Project Interdependency (PI) in Optimizing Project Portfolio Management (PPM). **International Journal of Technology**, v.5, p. 327-336, 2015.

ARRATIA-MARTINEZ, N. M et al. Project Portfolio Selection and Scheduling with Resource Allocation, Synergies, and Project Divisibility. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2021, 4163287, 2021.

AUBRY, M; HOBBS, B. A Fresh Look at the Contribution of Project Management to Organizational Performance. **Project Management Journal**, v. 42, n. 1, p. 3-16, 2011. doi:10.1002/pmj.20213

AUBRY, M. et al. A new framework for understanding organisational project management through the PMO. **International Journal of Project Management**, v. 25, n. 4, p. 328-336, 2007.

AZIMI, S. et al. Investment cost optimization for industrial project portfolios using technology mining. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 138, p. 243–253, 2019.

BAI, L. et al. A methodology for strategy-oriented project portfolio selection taking dynamic synergy into considerations. **Alexandria Engineering Journal**, v. 61, n. 8, p. 6357-6369, 2022.

BATHALLATH, S. et al. Managing project interdependencies in IT/IS project portfolios: a review of managerial issues. **International Journal of Information Systems and Project Management**, v. 4, n. 1, p. 67-82, 2016.

BATHALLATH, S. et al. Impediments to Effective Management of Project Interdependencies: A Study of IT/IS Project Portfolios. **Journal of Electronic Commerce in Organizations**, v. 15, n. 2, p. 16-30, 2017. <http://doi.org/10.4018/JECO.2017040102>



BATHALLATH, S. et al. The Viable System Model for Diagnosing and Handling IT-Project Interdependencies in Large Portfolios. **International Journal of Information Technology Project Management**, v. 10, n. 1, p. 72-87, 2019. doi:10.4018/ijitpm.2019010105

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Boston: Springer, 2002.

BENAIJA, K.; KJIRI, L. Hybrid approach for project portfolio selection taking account of resources management and interactions between projects. **Journal of Digital Information Management**, v. 13. p. 451-461, 2015.

BESEISO, M.; KUMAR, G. A fuzzy computational approach for selecting interdependent projects using prioritized criteria. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 40, n. 6, p. 11341–11354, 2021.

BHATTACHARYYA, R. et al. Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. **Computers and Mathematics with Applications**, v. 62, n. 10, p. 3857-3870, 2011.

BORTOLUZZI, M. et al. Combining Value-Focused Thinking and PROMETHEE Techniques for Selecting a Portfolio of Distributed Energy Generation Projects in the Brazilian Electricity Sector. **Sustainability**, v. 13, 11091, 2021.  
<https://doi.org/10.3390/su131911091>

BRANS, J. P.; VINCKE, P. Note—A Preference Ranking Organisation Method. **Management Science**, v. 31, n. 6, p. 647-656, 1985.

BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints. **Information Systems and Operational Research**, v. 30, n. 2, p. 85–96, 1992.

BROWNING, T.; YASSINE, A. Managing a portfolio of product development projects under resource constraints. **Decision Sciences**, v. 47, n. 2, p. 333–372, 2016. doi: 10.1111/dec.12172.

CAETANO, J. et al. Lessons Learnt from the Application of MCDA Sorting Methods to Pipe Network Rehabilitation Prioritization. **Water**, v. 14, n. 5, 736, 2022.

CANBAZ, B.; MARLE, F. Construction of project portfolio considering efficiency, strategic effectiveness, balance and project interdependencies. **International Journal of Project Organisation and Management**, v. 8, p. 103-126, 2016.

CARAZO, A. F. et al. Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection. **Computers and Operations Research**, v. 37, p. 630–639, 2010.

CARAZO, A. F. et al. A project portfolio selection problem in a group decision-making context. **Journal of Industrial and Management Optimization**, v. 8, n. 1, p. 243–261, 2012.

CARPITELLA, S. et al. Multi-criteria decision-making approach for modular enterprise resource planning sorting problems. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 28, n.5-6, p. 234-247, 2021.

CARRAWAY, R. L.; SCHMIDT, R. L. Note—An Improved Discrete Dynamic Programming Algorithm for Allocating Resources Among Interdependent Projects. **Management Science**, v. 37, n. 9, p. 1195-1200, 1991. <https://doi.org/10.1287/mnsc.37.9.1195>

CHIEN, C. F. A. Portfolio–Evaluation Framework for Selecting R&D Projects. **R&D Management**, v. 32, p. 359 – 368, 2002. 10.1111/1467-9310.00266.

CHO, W.; SHAW, M. J. Portfolio Selection Model for Enhancing Information Technology Synergy. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 60, n. 4, p. 739-749, 2013. doi: 10.1109/TEM.2013.2248088.

CLEGG, S. et al. Practices, projects and portfolios: Current research trends and new directions. *International Journal of Project Management*, v. 36, n. 5, p. 762–772, 2018. doi:10.1016/j.ijproman.2018.03.008.

COSTA, R. F. C. et al. Modelo para priorização na alocação de recursos federais para projetos em andamento de infraestrutura. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 53, 2021, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SOBRAPO, 2021, p. 1-12.

COSTA, I. P. A. et al. Strategic Study for Managing the Portfolio of IT Courses Offered by a Corporate Training Company: An Approach in the Light of the ELECTRE-MOr Multicriteria Hybrid Method. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 21, n. 1, p. 351-379, 2022.

COSTANTINO, F. et al. Project selection in project portfolio management: An artificial neural network model based on critical success factors. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 8, p. 1744-1754, 2015.

CRUZ, L. et al. Many-objective portfolio optimization of interdependent projects with 'a priori' incorporation of decision-maker preferences. **Applied Mathematics and Information Sciences**, v. 8, n. 4, p. 1517-1531, 2014.

CZAJKOWSKI, A. F.; JONES, S. Selecting interrelated R & D projects in space technology planning. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 33, n. 1, p. 17-24, 1986. doi: 10.1109/TEM.1986.6447718.

DAVOUDPOUR, H. et al. Developing a framework for renewable technology portfolio selection: A case study at a R&D center. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 4291-4297, 2012.

DE ALMEIDA, A. T. Additive-veto models for choice and ranking multicriteria decision problems. **Asia-Pacific Journal of Operation Research**, v. 30, n. 6. 2013.

DE ALMEIDA, A. T. et al. A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, p. 179-191, 2016.

DE ALMEIDA, A.T. et al. Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. **Central European Journal of Operations Research**, v. 29, p. 7-47, 2021.

DELOUYI, F. L. et al. Dynamic Portfolio Selection in Gas Transmission Projects Considering Sustainable Strategic Alignment and Project Interdependencies through Value Analysis. **Sustainability**, v. 13, 5584, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13105584>

DEVECI, M. et al. Floating photovoltaic site selection using fuzzy rough numbers based LAAW and RAFSI model. **Applied Energy**, v. 324, 119597, 2022.

DEY, P. K. An integrated assessment model for cross-country pipelines. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 22, p. 703–721, 2002.

DÍAZ, H.; SOARES, C.G. A Multi-Criteria Approach to Evaluate Floating Offshore Wind Farms Siting in the Canary Islands (Spain). **Energies**, v. 14, 865, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14040865>

DICKINSON, M.W. et al. Technology portfolio management: optimizing interdependent projects over multiple time periods. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 48, p. 518–527, 2001.

DURBACH, I. N. et al. Fast and frugal heuristics for portfolio decisions with positive project interactions. **Decision Support Systems**, v. 138, 113399, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113399>.

EBNERASOUL, M. et al. A collective efficacy-based approach for bi-objective sustainable project portfolio selection using interdependency network model between projects. **Environment Development and Sustainability**, 2022.

EDWARDS, W; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 60, p. 306-325, 1995.

EILAT, H. et al. Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology. **European Journal of Operational Research**, v. 172, p. 1018-1039, 2006.

ENGWALL, M. No project is an island: linking projects to history and context. **Research Policy**, v. 32, p. 789-808, 2003.

FERNANDES, E.; VALDIVIEZO, L. E. Total cost management of interdependent projects. **International Journal of Technology Management**, v.13, n.1, p. 15-24, 1997.

FIGUEIRA, J. et al. **Multiple Criteria Decision Analysis: state of the art surveys**. New York: Springer, 2005.

FOX, E. G. et al. Economic Models for R and D Project Selection in the Presence of Project Interactions. **Management Science**, v. 30, n. 7, p. 890-902, 1984. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.7.890>

- FRAZÃO, T. D. C. et al. Priority setting in the Brazilian emergency medical service: a multi-criteria decision analysis (MCDA). **BMC Medical Informatics and Decision Making**, v. 21, 2021.
- FREJ, E. A. et al. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. **Operational Research**, v. 19, p. 1-22, 2019.
- FREJ, E. A. et al. A benefit-to-cost ratiobased approach for portfolio selection under multiple criteria with incomplete preference information. **Information Sciences**, v. 545, p. 487-498, 2021.
- GHAPANCHI, A. H. et al. A methodology for selecting portfolios of projects with interactions and under uncertainty. **International Journal of Project Management**, v. 30, pp. 791-803, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.01.012>.
- GHASEMZADEH, F.; ARCHER, N. P. Project portfolio selection through decision support. **Decision support systems**, v. 29, n. 1, p. 73–88, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(00\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(00)00065-8)
- GHASSEMI, A.; AMALNICK, M.S. NPD project portfolio selection using reinvestment strategy in competitive environment. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 9, pp. 47-62, 2018.
- GIBSON, K. The moral basis of stakeholder theory. **Journal of Business Ethics**, v. 26, p. 245-257, 2000.
- GIROTRA, K. et al. Valuing R&D projects in a portfolio: Evidence from the pharmaceutical industry. **Management Science**, v. 53, p. 1452-1466, 2007.
- GRUSHKA-COCKAYNE, Y. et al. An integrated decision-making approach for improving European air traffic management. **Management Science**, v.54, n.8, p. 1395-1409, 2008.
- GUTJAHR, W. J.; REITER, P. Bi-objective project portfolio selection and staff assignment under uncertainty. **Optimization**, v. 59, n. 3, p. 417–445, 2010. doi:10.1080/02331931003700699
- HAAS, I.; BEKHOR, S. A parsimonious heuristic for the discrete network design problem. **Transportmetrica A Transport Science**, v. 12, n. 1, p. 43-64, 2015. <https://doi.org/10.1080/23249935.2015.1094680>.
- HALL, N. G. et al. Managing Underperformance Risk in Project Portfolio Selection. **Operations Research**, v. 63, n. 3, p. 660-675, 2015. <https://doi.org/10.1287/opre.2015.1382>
- HARRISON, K. R. et al. Solving a novel multi-divisional project portfolio selection and scheduling problem. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 112, 104771, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104771>.
- HEL FAT, C. E.; PETERAF, M. A. The dynamic resource-based view: capability lifecycles. **Strategic Management Journal**, v. 24, n. 10, p. 997–1010, 2003.

HERNANDEZ-PERDOMO, E. A. et al. Active management in state-owned energy companies: integrating a real options approach into multicriteria analysis to make companies sustainable. **Appl Energy**, v.195, p. 487–502, 2017.

HEYDARI, T. et al. Developing and solving an one-zero non-linear goal programming model to R and D portfolio project selection with interactions between projects. **International Business Management**, v. 10, pp. 4516-4521, 2016.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. Introdução à Pesquisa Operacional. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HUANG, X. et al. Multi-objective uncertain project selection considering synergy. **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, v. 13, p. 2383–2402, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Industrial Anual: valor bruto da produção industrial (Mil Reais), confecção de artigos do vestuário e acessórios, 2020, **SIDRA**, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1849>>. Acesso em: 16 fev. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Busca online CNAE, **CONCLA**, 2023. Disponível em: <<https://cnae.ibge.gov.br/?view=divisao&tipo=cnae&versao=10&divisao=14>>. Acesso em: 17 fev. 2023.

INIESTRA, J. G. GUTIÉRREZ, J. G. Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework. **Applied Soft Computing**, v. 9, p. 512-526, 2009.

JAFARZADEH, H. et al. A methodology for project portfolio selection under criteria prioritisation, uncertainty and projects interdependency – combination of fuzzy QFD and DEA. **Expert Systems with Applications**, v. 110, p. 237-249, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.028>.

JEPSSEN, A. L.; ESKEROD, P. Stakeholder analysis in projects: Challenges in using current guidelines in the real world. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 4, p. 335-343, 2009.

JONAS, D. Empowering project portfolio managers: How management involvement impacts project portfolio management performance. **International Journal of Project Management**, v. 28, n. 8, p. 818-831, 2010.

JUGEND, D. et al. Product portfolio management and performance: Evidence from a survey of innovative Brazilian companies. **Journal of Business Research**, v. 69, n. 11, p. 5095–5100, 2016. doi: 10.1016/j.jbusres.2016.04.086.

JULIO, A. S.; ALMEIDA, J. A. Seleção de culturas agrícolas através do modelo multicritério baseado no FITradeoff em uma fazenda no Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 53, 2021, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SOBRAPO, 2021, p. 1-12.

- KAISER, M. G. et al. Successful project portfolio management beyond project selection techniques: Understanding the role of structural alignment. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 1, p. 126-139, 2015.
- KALASHNIKOV, V. et al. Bi-objective project portfolio selection in Lean Six Sigma. **International Journal of Production Economics**, v. 186, p. 81-88, 2017.
- KANDAKOGLU et al. The use of multi-criteria decision-making methods in project portfolio selection: a literature review and future research directions. **Potim. Online**, p. 1-12, 2020.
- KANG, T. H. A. et al. Flexible and Interactive Tradeoff Elicitation for Multicriteria Sorting Problems. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, v. 37, n. 5, 2050020, 2020.
- KARIMI, S. et al. A scenario-based mathematical approach to a robust project portfolio selection problem under fuzzy uncertainty. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 42, n. 4, p. 4191-4204, 2022.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision analysis with multiple conflicting objectives, preferences and value trade-off**. Austria: IIASA Working Paper, 1976.
- KESKIN, F. D. A two-stage fuzzy approach for Industry 4.0 project portfolio selection within criteria and project interdependencies context. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 27, p. 65-83, 2020. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1002/mcda.1691>.
- KETTUNEN, J.; LEJEUNE, M. A. Data-driven project portfolio selection: Decision-dependent stochastic programming formulations with reliability and time to market requirements. **Computers & Operations Research**, v. 143, 105737, 2022.
- KHALILI-DAMGHANI, Kaveh et al. Solving multi-period project selection problems with fuzzy goal programming based on TOPSIS and a fuzzy preference relation. **Information Sciences**, v. 252, p. 42-51, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.05.005>.
- KILLEN, C. P. Evaluation of project interdependency visualizations through decision scenario experimentation. **International Journal of Project Management**, v. 31, p. 805-816, 2013.
- KILLEN, C. Managing portfolio interdependencies: The effects of visual data representations on project portfolio decision making. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 10, n. 4, p. 856-879, 2017. doi: 10.1108/ijmpb-01-2017-0003.
- KILLEN, C. P.; KJAER, C. Understanding project interdependencies: exploring the role of visual representation, culture and process. **International Journal of Project Management**, v. 30, n. 5, p. 554-566, 2012.
- KLAPKA, J.; PIÑOS, P. Decision support system for multicriterial R&D and information systems projects selection. **European Journal of Operational Research**, v. 140, n. 2, p. 434-446, 2002.

KLEINMUNTZ, D. Resource Allocation Decisions. In: EDWARDS, W. et al. **Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, p. 400-418. doi:10.1017/CBO9780511611308.021

KÖKSALAN, M. et al. An Early History of Multiple Criteria Decision Making. In: GRECO, S. et al. **Multiple Criteria Decision Analysis: state of the art surveys**. 2. ed. New York: Springer, 2016. p. 3-17.

KOPMANN, J. et al. The role of project portfolio management in fostering both deliberate and emergent strategy. **International Journal of Project Management**, v. 35, n. 4, p. 557–570, 2017. doi: 10.1016/j.ijproman.2017.02.011.

KUCHTA, D. A fuzzy model for r&d project selection with benefit, outcome and resource interactions. **The Engineering Economist**, v. 46, n. 3, p. 164–180, 2001.

KUMAR, M. et al. A hybrid TLBO-TS algorithm for integrated selection and scheduling of projects. **Computers and Industrial Engineering**, v. 119, p. 121–130, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.03.029>.

LAHTINEN, T. J. et al. Portfolio decision analysis methods in environmental decision making. **Environmental Modelling & Software**, v. 94, pp. 73-86, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.04.001>.

LEE, J. W.; KIM, S. H. Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection. **Computers & Operations Research**, v. 27, n. 4, p. 367-382, 2000.

LEE, J. W.; KIM, S. H. An integrated approach for interdependent information system project selection. **International Journal of Project Management**, v. 19, n. 2, p. 111-118, 2001.

LESTER, A. **Project Management, Planning, and Control: Managing Engineering, Construction, and Manufacturing Projects to PMI, APM, and BSI Standards**. 6. ed. Oxford: Elsevier, 2014.

LI, X. et al. Expanded model of the project portfolio selection problem with divisibility, time profile factors and cardinality constraints. **Journal of the Operational Research Society**, v. 66, n. 7, p. 1132–1139, 2015.

LI, X. et al. An extended model for project portfolio selection with project divisibility and interdependency. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 25, n.1, p. 119 - 138, 2016.

LI, X. et al. Uncertain mean-variance model for dynamic project portfolio selection problem with divisibility. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, v. 18, p. 37–56, 2019.

LIESIÖ, J. **Robust portfolio optimization in multi-criteria project selection**. Licentiate's Thesis, Helsinki University of Technology, 2006.

LIESIÖ, J. et al. Robust portfolio modeling with incomplete cost information and project interdependencies. **European Journal of Operational Research**, v. 190, p. 679-695, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.06.049>.

LIESIÖ, J.; SALO, A. Scenario-based portfolio selection of investment projects with incomplete probability and utility information. **European Journal of Operational Research**, v. 217, n. 1, p. 162-172, 2012.

LIU, Y.; LIU, Y-K. Distributionally robust fuzzy project portfolio optimization problem with interactive returns. **Applied Soft Computing**, v. 56, p. 655-668, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.09.022>.

LIU, Y. J.; ZHANG, W. G. Flexible time horizon project portfolio optimization with consumption and risk control. **Applied Soft Computing**, v. 76, p. 282–293, 2019.

LOPES, Y. G.; DE ALMEIDA, A. T. Assessment of synergies for selecting a project portfolio in the petroleum industry based on a multi-attribute utility function. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 126, p. 131-140, 2015.

LOURENÇO, J. C. et al. PROBE—A multicriteria decision support system for portfolio robustness evaluation. **Decision Support Systems**, v. 54, p. 534-550, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.08.001>.

MA, K. et al. Selection of New Projects Considering the Synergistic Relationships in a Project Portfolio. **Buildings**, v. 12, 1460, 2022.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, v. 7, p. 77–91, 1952.

MARTINSUO, M. Project portfolio management in practice and in context. **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 6, p. 794-803, 2013.

MEDAGLIA, A. L. et al. A multiobjective evolutionary approach for linearly constrained project selection under uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 179, p. 869–894, 2007.

MEIER, C. et al. Is it Worth the Effort?: A Decision Model to Evaluate Resource Interactions in IS Project Portfolios. **Business & Information Systems Engineering**, v. 59, p. 81–95, 2017. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12599-016-0450-4>

MENDES JÚNIOR, B. O. **Produção e comércio de vestuário do Brasil, Nordeste e Ceará frente à pandemia**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 5, n.118, 2020. (Caderno Setorial ETENE)

MIRA, C. et al. Project scheduling optimization in electrical power utilities. **Pesquisa Operacional**, v. 35, n. 2, p. 285-310, 2015.

MOHAGHEGHI, V. et al. R&D project evaluation and project portfolio selection by a new interval type-2 fuzzy optimization approach. **Neural Computing and Applications**, v. 28, p. 3869–3888, 2017.



MOTTLEY, C. M.; NEWTON, R. D. The selection of projects for industrial research. **Operational Research**, v. 7, n. 6, p. 740–751, 1959.

NASCIMENTO, P. T. S. Portfolio generation goes beyond project selection: Interdependencies must drive new alternatives creation. **Gestão & Produção**, v. 20, n.1, p. 13-22, 2013.

NEMHAUSER, G. L.; WOLSEY, L. A. Integer and Combinatorial Optimization. United States of America: Wiley-Interscience, 1999.

OLIVEIRA, H. S.; ALMEIDA, J. A. Modelo de decisão multicritério para seleção de portfólio de projetos com interações. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 53, 2021, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SOBRAPO, 2021, p. 1-12.

OLIVEIRA, H. S. et al. Uso de modelo multicritério não compensatório para a priorização de localizações para uma nova filial de uma empresa de combustíveis. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 41, 2021, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2021, p. 1-16.

ÖZPEYNIRCI, S. et al. Portfolio decision analysis with a generalized balance approach. **Computers & Operations Research**, v. 142, 105705, 2022.

PATAH, L. A. **Alinhamento estratégico de estrutura organizacional de projetos: uma análise de múltiplos casos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PATAH, L. A.; CARVALHO, M. M. Alinhamento entre estrutura organizacional de projetos e estratégia de manufatura: uma análise comparativa de múltiplos casos. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 2, p. 301-312, 2009.

PATANAKUL, P.; MILOSEVIC, D. The effectiveness in managing a group of multiple projects: Factors of influence and measurement criteria. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 3, p. 216–233, 2009.

PATANAKUL, P. Key attributes of effectiveness in managing project portfolio. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 5, p. 1084-1097, 2015.

PENDHARKAR, P. C. A decision-making framework for justifying a portfolio of IT projects. **International Journal of Project Management**, v. 32, p. 625-639, 2014.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.09.006>.

PÉREZ, F. et al. Project portfolio selection and planning with fuzzy constraints. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 131, p. 117-129, 2018.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.012>.

PICH, M. T. et al. On Uncertainty, Ambiguity, and Complexity in Project Management. **Management Science**, v. 48, n. 8, p. 1008-1023, 2002.

PMI. **The Standard for Program Management**. ed. 4. Pennsylvania: Project Management Institute, 2017a.

PMI. **The Standard for Portfolio Management**. ed. 4. Pennsylvania: Project Management Institute, 2017b.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos: guia PMBOK**. ed. 7. Pennsylvania: Project Management Institute, 2021.

POUR, B. B. et al. Project selection problem under uncertainty: An application of utility theory and chance constrained programming to a real case. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 4, p. 373–386, 2013.

REZAEI, J. et al. Embedding carbon impact assessment in multi-criteria supplier segmentation using ELECTRE TRI-rC. **Annals of Operations Research**, v. 312, p. 1445–1467, 2022.

ROY, B., Classement et choix en presence de points de vue multiples (La methode ELECTRE). **RIRO**, v. 8, p. 57-75, 1968.

ROY, B., BERTIER, P. La methode ELECTRE II, une application au media-planing. **North-Holland Publishing Company**, p. 291-302, 1973.

ROY, B.; HUGONNARD, J. C. Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by multicriteria method. **Transportation Research Part A**, v. 16, p. 301-312, 1982.

ROY, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. **Theory and Decision**, v. 31, p. 49-73, 1991.

ROY, B., BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision: Méthodes et cas**. Paris, France: Economica, 1993.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Boston: Springer, 1996.

ROY, B. Paradigms and Challenges. In: GRECO, S. et al. **Multiple Criteria Decision Analysis: state of the art surveys**. 2. ed. New York: Springer, 2016. p. 19-39.

RUNGI, M. Success rate and resource consumption from project interdependencies. **Industrial Management & Data Systems**, v. 110, n. 1, p.93–100, 2010.

RUNGI, M.; HILMOLA, O. P. Interdependency management of projects: Survey comparison between Estonia and Finland. **Baltic Journal of Management**, v. 6, n. 2, p. 146–162, 2011. doi:10.1108/17465261111131785

SAATY, T. L. Rank generation, preservation, and reversal in the Analytic Hierarchy Process. **Decision Sciences** v. 18, n. 2, p. 157–177, 1987.

SALO, A. et al. An invitation to portfolio decision analysis. **Portfolio Decision Analysis: Improved Methods for Resource Allocation**. New York: Springer, 2011.

SANTHANAM, R.; KYPARISIS, J. A multiple criteria decision model for information system project selection. **Computers & Operations Research**, v. 2, n. 8, p. 807-818, 1995.

SANTHANAM, R.; KYPARISIS, G. J. A decision model for interdependent information system project selection. **European Journal of Operational Research**, v. 89, p. 380-399, 1996.

SCHMIDT, R. L. A model for R&D project selection with combined benefit, outcome and resource interactions. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 40, n. 4, p. 403-410, 1993. doi: 10.1109/17.257733.

SHAKHSI-NIAEI, M. et al. Application of genetic and differential evolution algorithms on selecting portfolios of projects with consideration of interactions and budgetary segmentation. **International Journal of Operational Research**, v. 22, n. 1, p. 106 - 128, 2015.

SOUZA, R. A. C. et al. Modelo de decisão de recrutamento para ordenação de candidatos de programa trainee. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 42, 2022, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2022, p. 1-15.

STUMMER, C; HEIDENBERGER, K. Interactive R&D portfolio analysis with project interdependencies and time profiles of multiple objectives. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 50, n. 2, p. 175-183, 2003. doi: 10.1109/TEM.2003.810819.

TAKAMI, M. A. et al. A hesitant fuzzy set theory-based approach for project portfolio selection with interactions under uncertainty. **Journal of Information Science and Engineering**, v. 34, p. 65-79, 2018.

TANSAKUL, N.; YENRADEE, P. Fuzzy improvement-project portfolio selection considering financial performance and customer satisfaction. **International Journal of Knowledge and Systems Science**, v. 11. n. 2, p. 41-70, 2020.

TAVANA, M. et al. A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis, TOPSIS and Integer Programming. **Expert Systems with Applications**, v. 42, 8432-8444, 2015.

TELLER, J. et al. Formalization of project portfolio management: The moderating role of project portfolio complexity. **International Journal of Project Management**, v. 30, n. 5, p. 596-607, 2012.

TOO, E. G.; WEAVER, P. The management of project management: A conceptual framework for project governance. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 8, p. 1382-1394, 2014.

TOOR, S. R.; OGUNLANA, S. O. Beyond the 'iron triangle': Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. **International Journal of Project Management**, v. 28, n. 3, p. 228-236, 2010.

TRANFIELD, D. et al. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

TRIANAPHYLLOU, E. **Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study**. New York: Springer, 2000.

UNGER, B. N. et al. The three roles of a project portfolio management office: Their impact on portfolio management execution and success. **International Journal of Project Management**, v. 30, n. 5, p. 608-620, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.01.015>.

VETSCHERA, R. Composite alternatives in group decision support. **Annals of Operations Research**, v. 51, p. 197-215, 1994.

VETSCHERA, R.; ALMEIDA, A. T. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. **Computers & Operations Research**, v. 39, n. 5, p. 1010-1020, 2012.

VETSCHERA, R.; ALMEIDA, J. A. Bounds in Tree-Based Approaches to Generate Project Portfolios in the Presence of Interactions. **International Journal of Decision Support System Technology**, v. 13, n. 4, p. 50-70, 2021. <http://doi.org/10.4018/IJDSST.2021100104>

VIDAL, L.; MARLE, F. Understanding project complexity: implications on project management. **Kybernetes**, v. 37, n. 8, p. 1094-1110, 2008.

VOSS, M.; KOCK, A. Impact of relationship value on project portfolio success - Investigating the moderating effects of portfolio characteristics and external turbulence. **International Journal of Project Management**, v. 31, no. 6, p. 847-861, 2013. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.11.005.

WANG, Z. et al. Project Portfolio Selection based on multi-project synergy. **Journal of Industrial and Management Optimization**, v. 19, n. 1, p. 117-138, 2023.

WEBSTER, J.; WATSON, R. T. Analyzing the past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. **MIS Quarterly**, v. 26, n. 2, p. 13-23, 2002.

WEI, H. et al. A refined selection method for project portfolio optimization considering project interactions. **Expert Systems with Applications**, v. 142, 112952, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112952>.

WOLSEY, L. A. **Integer Programming**. 2. ed. United States of America: Wiley, 2021.

WU, Y. et al. An intuitionistic fuzzy multi-criteria framework for large-scale rooftop PV project portfolio selection: Case study in Zhejiang, China. **Energy**, v. 143, p. 295-309, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.105>.

WU, Y. et al. Portfolio selection of distributed energy generation projects considering uncertainty and project interaction under different enterprise strategic scenarios. **Applied Energy**, v. 236, p. 444-464, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.009>.

WU, Q. et al. An integrated generalized TODIM model for portfolio selection based on financial performance of firms. **Knowledge-Based Systems**, v. 249, 108794, 2022.

YU, L. et al. Genetic algorithm-based multi-criteria project portfolio selection. **Annals of Operations Research**, v. 197, p. 71–86, 2012. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10479-010-0819-6>

YU, W.; ROY, B. ELECTRE TRI - Aspects Méthodologiques et Manuel d'Utilisation. Cahier du Lamsade, **Document n° 74**. Paris: **Université de Paris Dauphine**, 1992.

ZHAI, L. et al. Understanding the Value of Project Management from a Stakeholder's Perspective: Case Study of Mega-Project Management. **Project Management Journal**, v. 40, n. 1, p. 99–109, 2009. doi:10.1002/pmj.20099

ZHAI, S-L. et al. Application of Interaction Effect Multichoice Goal Programming in Project Portfolio Analysis. **Mathematical Problems in Engineering**, 1863632, 2021.

ZOLFAGHARI, S. et al. A type-2 fuzzy optimization model for project portfolio selection and scheduling incorporating project interdependency and splitting. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 27, n. 2, p. 493-510, 2021. <https://doi.org/10.3846/tede.2021.14652>

ZORLUOĞLU, O. S.; KABAK, O. An interactive multi-objective programming approach for project portfolio selection and scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, v. 169, 108191, 2022.

## APÊNDICE A – DADOS DO ESTUDO DE CASO

Figura 17 - Dados para o critério “Retorno Financeiro”

MAX	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Tipo 1	1000	100	800	300	250	500	50	300	700	400	250	2000
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
P1	0											
P2		0										
P3			0									
P4				0								
P5					0							
P6						0						
P7							0					
P8								0				
P9									0			200
P10										0		
P11											0	
P12												0

Fonte: Autora (2023)

Figura 18 - Dados para o critério “Sucesso”

MAX	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Tipo 2	0,78	0,88	0,85	0,82	0,85	0,75	0,88	0,80	0,80	0,86	0,82	0,78
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
P1	0											
P2		0										
P3			0									
P4				0								
P5					0							
P6						0			0,82			
P7							0					
P8								0				
P9						0,90			0			
P10										0		
P11											0	
P12												0

Fonte: Autora (2023)

Figura 19 - Dados para o critério “Qualidade”

MAX	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	
Tipo 3		4	1	3	3	2	4	1	1	3	2	3	2
	5												
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	
P1		0								1			
P2			0										
P3				0									
P4					0								
P5						0							
P6							0			0			
P7								0					
P8									0				
P9		1					1			0			
P10											0		
P11												0	
P12													0

Fonte: Autora (2023)

Figura 20 - Dados para a restrição de “Recurso financeiro”

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Disponível
Consumo	15000	1200	750	8000	750	1000	600	900	3000	1200	900	1500	20000
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	
P1		0	-800										
P2			0										
P3				0		-200							
P4					0								
P5						0							
P6							0						
P7								0					
P8									0				
P9										0			
P10											0		
P11												0	
P12													0

Fonte: Autora (2023)

Figura 21 - Dados para a restrição de tempo do “Recurso humano”

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Disponível
Consumo	320	80	220	520	220	100	120	400	260	150	120	500	1800
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	
P1	0								-80				
P2		0											
P3			0		-50								
P4				0		-60							
P5					0								
P6						0							
P7							0						
P8								0					
P9									0				
P10										0	-40		
P11											0		
P12												0	

Fonte: Autora (2023)