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

CARLOS JOSE DE LIMA

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE APOIO A DECISÃO PARA O PROBLEMA DE COMPOSIÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS COM A ABORDAGEM HEURÍSTICA DO PROBLEMA DA MOCHILA E OS VALORES DE SHAPLEY APLICADO A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Recife
2024

CARLOS JOSE DE LIMA

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE APOIO A DECISÃO PARA O PROBLEMA DE COMPOSIÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS COM A ABORDAGEM HEURÍSTICA DO PROBLEMA DA MOCHILA E OS VALORES DE SHAPLEY APLICADO A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

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: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Profa. Dra. Maisa Mendonça Silva.

Recife

2024

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

L732s Lima, Carlos Jose de.
Sistema de informação de apoio a decisão para o problema de composição de portfólio de projetos com a abordagem heurística do problema da mochila e os valores de Shapley aplicado a indústria da construção civil / Carlos Jose de Lima. – 2024.
129 f.: il., figs., qds., tabs. e siglas.

Orientadora: Profa. Dra. Maisa Mendonça Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2024.
Inclui Referências e Apêndice.

1. Engenharia de Produção. 2. Gestão portfólio. 3. Valores de Shapley. 4. Problema da mochila. 5. Suporte a decisão. 6. Pesquisa operacional. I. Silva, Maisa Mendonça (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2024-88

CARLOS JOSE DE LIMA

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE APOIO A DECISÃO PARA O PROBLEMA DE COMPOSIÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS COM A ABORDAGEM HEURÍSTICA DO PROBLEMA DA MOCHILA E OS VALORES DE SHAPLEY APLICADO A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Aprovada em: 29/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof.ª Dra. Maisa Mendonça Silva (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof.ª Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof.ª Dra. Fernanda Araujo Baião (Examinadora Externa)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Dedico esse trabalho ao amigo e mentor Amaro Coelho (*in memoriam*) por sempre me incentivou e me ensinou a nunca permitir que as fraquezas ofusquem nossos sonhos. Ao meu amigo e incentivador Edivaldo França (*in memoriam*) que dizia que um homem se mede pelos obstáculos superados. Desejo ter sido merecedor de tanto carinho, diálogos, e motivação de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me apoiaram durante essa jornada, a minha família em especial a minha mãe Lindalva Lima, por sempre me desejar o melhor e apoiar nas minhas realizações pessoais.

Aos nobres e caros discentes do PPGEP, por suas contribuições diárias, paciência e por compartilhar momentos de muita ampliação de conhecimentos e ajuda mútua.

Agradeço a todos os professores que fazem parte do PPGEP pelos conhecimentos compartilhados, e os desafios propostos. Em especial e com muita admiração a Prof. Dr. Maisa Mendonça Silva, no papel de orientadora, por todos os incentivos, atenção e a motivação para desenvolvimento da pesquisa e da tese de dissertação.

A CAPES os sinceros agradecimentos pelo apoio a pesquisa, pois sem o apoio financeiro não seria possível iniciar e concluir a atual jornada.

RESUMO

Utilizar modelos de apoio à decisão é crucial para fornecer às partes interessadas os elementos necessários em processos decisórios cada vez mais complexos, diante da crescente quantidade de informações disponíveis e da demanda por maior assertividade em um mercado dinâmico e competitivo. Em diversos setores da economia, a tomada de decisão desempenha um papel fundamental. Nesse contexto, métodos e ferramentas que contribuem para a alocação eficiente de recursos limitados, visando à maximização do retorno esperado, tornam-se indispensáveis. Esta pesquisa fundamenta um modelo matemático que busca maximizar a utilidade dos projetos na composição de portfólio, integrando técnicas da Pesquisa Operacional: a técnica dos valores de Shapley com a técnica do problema da mochila. Ambas são aplicadas no processo decisório para a composição de portfólio de projetos. As técnicas são suportadas como etapas de um sistema de informação de apoio à decisão, oferecendo alternativas às escolhas feitas por especialistas em um estudo de caso na Construção Civil. Os resultados indicam que a combinação das técnicas que fundamentam o modelo proposto promoveu escolhas melhores e resultados, como a maximização de retornos financeiros, quando comparados com a opinião de especialistas. Além disso, essa abordagem trouxe uma nova perspectiva para a elicitação da utilidade de projetos. As bases de dados, o sistema de informação de apoio a decisão, e os resultados estão disponíveis através do seguinte hiperlink: PPGEP-Lima-Silva-Shapley_Knapsack.

Palavras-chave: gestão portfólio; valores de Shapley; problema da mochila; suporte a decisão; pesquisa operacional.

ABSTRACT

Using decision support models is crucial to provide stakeholders with the necessary elements in increasingly complex decision-making processes, given the growing amount of information available and the demand for greater accuracy in a dynamic and competitive market. Decision-making plays a fundamental role in various sectors of the economy. In this context, methods and tools that contribute to the efficient allocation of limited resources, aiming to maximize expected returns, become indispensable. This research establishes a mathematical model that seeks to maximize the utility of projects in portfolio composition, integrating Operational Research techniques: the Shapley values technique with the knapsack problem technique. Both are applied in the decision-making process for portfolio composition of projects. The techniques are supported as steps in a decision support information system, offering alternatives to choices made by experts in a case study in the Construction Industry. The results indicate that the combination of techniques underlying the proposed model led to better choices and outcomes, such as the maximization of financial returns when compared to expert opinions. Additionally, this approach brought a new perspective to the elicitation of project utility. The databases, the decision support information system, and the results are available through the following hyperlink.: PPGEP-Lima-Silva-Shapley_Knapsack.

Keywords: portfolio management; Shapley values; knapsack problem; decision support; operations research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de vida do portfólio e suas etapas.....27
Figura 2 - Elementos do portfólio 28
Figura 3 – Fluxograma metodológico 41
Figura 4 – Fluxo de funcionamento do SIAD.....63
Figura 5 - Algoritmo do problema da mochila.....64
Figura 6 - Algoritmo cálculo dos valores de uma coalizão 65
Figura 7 - Algoritmo de cálculo dos valores de Shapley por coluna 66
Figura 8 - Algoritmo de combinação dos valores de Shapley 66
Figura 9 – Quantidade de tipo de produto na base de dados. 69
Figura 10 – Valor médio de VGVB, VGVL e custo da obra dos projetos.....69
Figura 11 – Maior valor do VGVB, VGBL, e custo da obra por único projeto por tipo. 70
Figura 12 – Menor valor do VGVB, VGVL, e custo de obra para um projeto por tipo. 71
Figura 13 – Matriz de confusão projetos selecionados por especialistas e SIAD.....81
Figura 14 – Projetos selecionados e não selecionados por especialistas e SIAD.....82
Figura 15 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD orçamento previsto..86
Figura 16 – Ordem VGVB, VGVL, e custo obra do Projeto 8, ano a ano. 87
Figura 17 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD pelo orçamento limite. 88
Figura 18 – Variação do VGVB comparado com seleção dos especialistas. 91
Figura 19 – Variação do VGVL comparado com seleção dos especialistas. 92
Figura 20 – Variação do custo de obra comparado com seleção dos especialistas. 93
Figura 21 – Variação do ROI VGVB comparado com seleção dos especialistas.....94
Figura 22 – Variação do ROI VGVL comparado com seleção dos especialistas. 95
Figura 23 – Tipos de produtos selecionados pelos especialistas e pelo SIAD.....97
Figura 24 – Variação do ROI VGVL comparado com seleção dos especialistas. 98
Figura 25 – Projetos selecionados e não selecionados considerando o tipo de produto. 100
Figura 26 – Variação orçamentária previsto e destinado ano a ano em percentil...101
Figura 27 – Quantidade de projetos com as variações orçamentárias.....102
Figura 28 – Quantidade de projetos selecionados pelo SIAD e especialistas.....105

Figura 29 – Variação do VGVB, VGVL e custo obra do SIAD e especialistas. 106
Figura 30 – ROI VGVB e VGVL do SIAD e especialistas.....107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definição do modelo de entrada de dados no SIAD.....63
Quadro 2 – Dicionário de dados com tipologia e descrição 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de teste com projetos num portfólio.....48
Tabela 2 – Coalizões possíveis no cenário de teste do portfólio.....49
Tabela 3 – Coalizões do projeto 1 no cenário de teste. 49
Tabela 4 – Coalizões dos projetos 2 e 3 no cenário de teste.....51
Tabela 5 – Coalizões dos projetos 2 e 3 no cenário de teste.....53
Tabela 6 – Valores de Shapley e os valores a serem investidos por projeto. 55
Tabela 7 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 1.....56
Tabela 8 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 2.....57
Tabela 9 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 3.....57
Tabela 10 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 4.....58
Tabela 11 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 5.....59
Tabela 12 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 1.....60
Tabela 13 – Projetos que podem estar na mochila com os valores para portfólio. ...60
Tabela 14 – Quantidade de projetos selecionados por ano. 73
Tabela 15 – Quantidade de empreendimentos selecionados por tipo de produto. ...74
Tabela 16 – Custo total de obra para os projetos selecionados de cada ano. 74
Tabela 17 – Projetos selecionados a cada ano pela comissão de avaliação. 75
Tabela 18 – Custo total de obra para os projetos selecionados de cada ano. 76
Tabela 19 – Tempos registrados na execução de cada base de dados por orçamento. 77
Tabela 20 – Projetos selecionados por especialistas e pelo SIAD.....80
Tabela 21 – Projetos selecionados pelo SIAD de acordo com o orçamento. 84
Tabela 22 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD orçamento previsto.. 85
Tabela 23 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD orçamento limite. 88
Tabela 24 – VGVB total dos projetos selecionados ano a ano em milhões de Reais. 90
Tabela 25 – VGVL total dos projetos selecionados ano a ano em milhões de Reais. 92
Tabela 26 – Custo de obra total dos projetos selecionados ano a ano em milhões de Reais. 93

Tabela 27 – ROI VGVB do total dos projetos selecionados ano a ano em percentil. 94
Tabela 28 – ROI VGVL do total dos projetos selecionados ano a ano em percentil.. 95
Tabela 29 – Custo da obra por tipo de produto. 98
Tabela 30 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD orçamento limite. 99
Tabela 31 – Orçamentos em milhões acrescidos de percentis a partir do orçamento previsto. 102
Tabela 32 – Projetos selecionados na variação orçamentária a cada ano. 103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

.csv	Comma-separated values
ANP	Analytic Network Process
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DEMATEL	Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
GB	Gigabyte
GHz	Gigahertz
HD	Hard-drive
IPMA	International Project Management Associate
ISO	International Organizational for Standardization
OGC	Office of Government Commerce
PMI	Project Management Institute
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
RAM	Random-access memory
RTX	Ray Tracing Texel eXtreme
SATA	Serial Advanced Technology Attachment
SEI	Software Engineering Institute
SIAD	Sistema de Informação de Apoio a Decisão
SSD	Solid-state drive

LISTA DE SÍMBOLOS

+	Adição
$\{a, b, c\}$	Conjunto de elementos
!	Fatorial
φ	Fi
=	Igual a
$[a, b]$	Intervalo fechado
$\leq$	Menor ou igual que
%	Percentagem
R$	Reais brasileiros
$\sum$	Somatório
-	Subtração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
1.1 OBJETIVOS 18
1.1.1 Objetivo Geral 19
1.1.2 Objetivos Específicos 19
1.2 JUSTIFICATIVAS 19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO 22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 24
2.1 GESTÃO DE PORTFÓLIO E SUA IMPORTÂNCIA 24
2.1.1 Padronização na gestão de portfólio 26
2.2 TÉCNICAS NA SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PORTFÓLIOS 30
2.3 GESTÃO DE PORTFÓLIO E O ALINHAMENTO ESTRATÉGICO 33
2.4 DESAFIOS NA GESTÃO DE PORTFÓLIO 36
2.5 TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES NA GESTÃO DE PORTFÓLIO 38
3 METODOLOGIA 41
3.1 VALORES DE SHAPLEY E O PROBLEMA DA MOCHILA 42
3.2 EXEMPLO APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL 48
4 PRODUTO TECNOLÓGICO 62
4.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE APOIO A DECISÃO 62
5 ESTUDO DE CASO 67
5.1 COLETA, TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS 67
5.2 DO PROCESSO DE SELEÇÃO ATUAL 71
5.3 APLICANDO OS DADOS NO SIAD 76
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 79
6.1 PROJETOS SELECIONADOS NO ORÇAMENTO DESTINADO 80
6.2 DOS VARIAÇÕES EM RELAÇÃO AO TIPO DE ORÇAMENTO 84
6.3 DA PERSPECTIVA DOS INDICADORES FINANCEIROS 89
6.4 IMPACTOS NOS TIPOS DE PRODUTO 96
6.5 VARIAÇÕES ORÇAMENTÁRIAS E RESULTADOS 101
6.6 SIAD COMO FERRAMENTA ÚNICA DE SELEÇÃO 104
7 CONCLUSÃO 108
REFERÊNCIAS 111
APÊNDICE A – ARQUITETURA DO PRODUTO TECNOLÓGICO 124

1 INTRODUÇÃO

A gestão de portifólio de projetos e investimentos corporativos consiste em um desafio para as organizações, não só por competirem entre si pelos recursos compartilhados (DREYER *et al.,* 2022), mas também para atender os desejos dos patrocinadores e da gestão empresarial (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999). O processo de seleção dos itens que compõem o portifólio possui diversas técnicas disponíveis (MOHAGHEGHI *et al.,* 2019), e a gestão do portifólio pode ser definido como um processo decisório que busca o sucesso na seleção, priorização, encerramento e alocação dos recursos disponíveis (COOPER; EDGETT; KLEINSCHMIDT, 2001).

Um grande desafio é alinhar a estratégia do negócio com a execução do portfólio, sempre tendo os objetivos de curto e os de longo prazo, e com a gestão de recursos disponíveis, promovendo os resultados de forma factível (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017). Destaca-se que uma gestão de portifólio possui influência direta no curto e longo prazo, como também na estratégia do negócio em si (SHENHAR *et al.,* 2001). Ciente de que os recursos existentes são limitados, e que a forma como os recursos existentes são alocados impactam diretamente no sucesso organizacional (SHENHAR *et al.*, 2001), é possível realizar um paralelo entre a gestão do portifólio e a execução da estratégia corporativa.

A Pesquisa Operacional, como ciência, busca a aplicação de informações apoiadas por tecnologia para que decisões sejam tomadas (ARENALES, 2011), inclusive no que diz respeito a estratégia corporativa. Ainda, no contexto do processo decisório, os critérios para os itens que irão compor o portifólio precisam ser claros, previsíveis, e alocar os recursos disponíveis de forma coerente (BENNER; TUSHMAN, 2015), afinal decisões incorretas podem deixar de beneficiar investimentos de maior relevância nos resultados organizacionais (CHRISTENSEN; BOWER, 1996). Não obstante, ao visualizar a composição de um portfólio de projetos como uma competição para a obtenção de recursos disponíveis, pode-se realizar um paralelo com a Teoria dos Jogos na busca do equilíbrio em jogos cooperativos (GIBBONS, 1992).

Sabe-se que a incerteza faz parte das decisões no mundo real, e por isso é importante utilizar um processo de decisão (EKBLOM; BLOMVALL, 2020). Abordar o

conceito com justificativas matemáticas permite não só a melhor compreensão do funcionamento do método, bem como suas limitações, possibilitando melhorias (ZHAO; CHAKRABARTI; MUTHURAMAN, 2019). Neste contexto, a Pesquisa Operacional é fator relevante quando aplicada ao processo decisório. O referido estudo limita-se ao suporte no processo decisório, e desta forma não cabe a análise de forma ampla de todos os contextos na gestão de portfólio de projetos.

Se observarmos que os objetivos estratégicos de uma organização estão claros e alinhados aos investimentos, fica mais fácil realizar as escolhas dos investimentos, reduzindo a complexidade da análise e beneficiando os resultados (YI; LI; ZHANG, 2021). Sabe-se que as organizações que alcançam os melhores resultados são aquelas que alinham os projetos com a estratégia organizacional, e o desenvolvimento de sistemas podem beneficiar a gestão de portifólio (PMI; PwC Global, 2022).

Os desafios existentes para o desenvolvimento de ferramentas de apoio a decisão, a aplicação de técnicas da Pesquisa Operacional, e a possibilidade de aprofundamento na temática de gestão de portifólio (ISAIAS *et al.*, 2021) são os principais motivos para a abordagem deste problema, bem como a possibilidade de melhorar o processo de gestão dos portifólios, evitando possíveis erros na seleção (CHARBONNET, 2019). Com o intuito de otimizar o processo de seleção de portifólio, e fazendo uso de ferramentas computacionais, este referido estudo se propõe a disponibilizar a estruturação de um sistema de informação de apoio a decisão trazendo uma abordagem que combina técnicas de Pesquisa Operacional – teoria dos valores de Shapley e o problema da mochila – suportadas por uma ferramenta tecnológica ao problema de seleção de portifólio de projetos.

1.1 OBJETIVOS

O cerne principal deste estudo é a estruturação de um modelo de apoio a decisão com a utilização de recursos tecnológicos que melhore o processo de decisão na escolha de quais itens devem compor o portifólio de projetos de determinada empresa, e ajudar nos resultados organizacionais, levando-se em consideração a condução para a escolhas que visem maximizar os recursos financeiros disponíveis.

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo matemático baseado em valores de Shapley e no problema da mochila para a composição do portfólio de projetos.

1.1.2 Objetivos Específicos

No intuito de atingir o objetivo geral proposto e descrito anteriormente, se faz necessário que os objetivos específicos, que suportam e delimitam a proposta, sejam atingidos, a saber:

a) Formalizar a combinação dos modelos matemáticos na otimização da utilidade dos projetos que comporão o portfólio;
b) Definir a estrutura do sistema de informação de apoio a decisão que suportará o modelo;
c) Desenvolver o produto tecnológico que irá automatizar o processo de apoio a decisão;
d) Aplicar o produto tecnológico em um estudo de caso relacionado as escolhas de especialistas em uma indústria da construção civil com os projetos que compõem o portfólio de projetos;
e) Comparar os resultados do sistema de informação de apoio a decisão com a opinião especialistas, e apresentar os resultados para discussão.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A seleção e priorização de itens que compõem o portifólio nos investimentos corporativos consiste em um aspecto importante e desafiador para as organizações (SHENHAR *et al.*, 2001). A consistência existente no portifólio é derivada de diversos fatores como o grau de formalidade do processo, a integração entre funções da empresa, e a diligência em escolher quais itens receberão os recursos existentes (MESKENDAHL, 2010). Considera-se que a composição do portifólio surge como um grande desafio devido à complexidade causada pela interdependência de recursos disponíveis (SÖDERLUND, 2004).

Existem diversas técnicas conhecidas que são aplicadas para a seleção e priorização de itens em portifólios, contudo não há um consenso sobre qual técnica

deve ser utilizada (DUTRA; RIBEIRO; DE CARVALHO, 2014), até porque existe um número considerável de variáveis a serem avaliadas, bem como uma diversidade nas fontes de informação (LI; YI; FANG, 2019). Para o processo de tomada de decisão, o grande volume de informações disponíveis pode, a depender da técnica adotada, dificultar a análise e o processo de tomada de decisão (MRENDINO *et al.*, 2018), o que implicará em escolhas inadequadas de itens a receberem o investimento. O sucesso na execução da estratégia corporativa está relacionado à seleção e priorização dos itens que irão compor o portifólio, desta forma, o desenvolvimento de um modelo claro e preciso para otimizar o processo de gestão de portifólio é fundamental (DAI; KANG, 2022).

Neste sentido, surgiu a concepção da Teoria Moderna de Portfólio de seleção de itens buscando maximizar o retorno, considerando a exposição ao menor risco possível (MARKOWITZ, 1952), e o surgimento de outras abordagens como fazer o uso do conceito de balancear o risco e o custo envolvido (CHAPMAN, 1979). Ainda olhando para padrões de gestão do portfólio, observa-se que há destaque no alinhamento dos recursos disponíveis com a estratégia da organização, sendo este alinhamento decisivo para atingir os objetivos de negócio (KNASTER; LEFFINGWELL, 2020). A gestão de portfólio é então considerada uma atividade dinâmica na qual as empresas investem os recursos (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017), e onde risco, retorno, e alinhamento estratégico são o cerne principal.

Ferramentas para a gestão de portfólio são importantes, e na visão de 52% de entrevistados, sua adoção se justifica por ajudar no alinhamento estratégico (DAVIS, 2007); não obstante e após um período de crise sanitária, 32% de entrevistados expressaram que a agilidade e rapidez na tomada de decisões está sendo explorada (D'ARCY; HARVEY, 2021). Num contexto mais amplo, 30% das instituições financeiras fizeram uso de técnicas de análise avançadas em concessão de créditos para empresas de pequeno e médio porte (ANAND *et al.*, 2022). Em se tratando de gestão de portfólio, pouco mais de 44% de empresas brasileiras responderam que estão sempre alinhados aos objetivos estratégicos (ORLANDI; DANTAS; NETO, 2020). Ainda, em relação à visão de curto prazo, há o interesse pela adoção de sistemas de informação para a gestão de portfólios, e para 84% dos diretores de Tecnologia da Informação este tipo de sistema já estão em processo de

adoção por parte das empresas em que atuam, além da inclusão de padrões para a gestão de portfólios (GARTNER, 2022).

Desta forma, a necessidade de uma metodologia, critério ou processo de seleção de projetos deve-se ao fato de que em muitos casos a quantidade de projetos existentes, sejam eles internos ou externos a organização, excedem o limite de recursos disponíveis em determinado período, e escolher onde alocar esses recursos de forma coerente e promovendo o melhor resultado não é tão trivial (ENGWALL; JERBRANT, 2003).

Por vezes, os critérios de seleção estão limitados a conceitos como risco e retorno. No entanto, com a complexidade organizacional da atualidade, os critérios de seleção constituem um conjunto de atividades desde o gerenciamento continuado de riscos, controle e relatórios, a vários outros fatores institucionais (BLINCHFELDT; ESKEROD, 2008). Em alguns casos, faz-se o uso de técnicas mais sofisticadas, como a utilização de algoritmos ou técnicas gerenciais para a escolha na gestão de portifólios (DOERNER *et al.*, 2006). As organizações são instadas a todo o tempo a tomar decisões sobre onde alocar os investimentos ou como planejar os recursos, e há uma complexidade pela quantidade de variáveis que estão envolvidas no processo de decisão, e o investimento de forma correta é um dos pontos de maior importância para aqueles com o poder de decisão (KIM, 2006).

A abordagem aqui prevista visa a combinação de técnicas existentes fundamentando um método, que além de buscar aplicação de modelos matemáticos através de técnicas da Pesquisa Operacional combinada ao uso de recursos computacionais, busca de forma sistemática fazer uso dos dados existentes de uma organização para otimizar o processo de gestão de portfólio. Os critérios de escolha passaram por grandes mudanças ao longo do tempo e os estudos relacionados vem trazendo abordagem multicritério, propondo diferentes formulações seja baseada em modelos matemáticos, em técnicas quantitativas, heurísticas, e outras das mais variadas existentes e aplicadas em diversas abordagens (AOUNI; COLAPINTO; LA TORRE, 2014).

A adoção de diversas técnicas é devido aos desafios impostos em determinar qual a combinação de projetos que de forma coletiva podem gerar maior valor para os negócios e compor o portfólio de forma a atender os objetivos estratégicos da organização respeitando restrições existentes. Os estudos para seleção e escolha dos itens que compõem o portifólio de projetos, por mais diversos que sejam,

sempre revelam a perspectiva estratégica e como as capacidades existentes possuem um papel relevante na vantagem competitiva da organização (KILLEN *et al.*, 2012).

A presente pesquisa em si tem diversos impactos socioeconômicos. A começar que quando os recursos existentes são otimizados, ou seja, investidos de forma a maximizar os retornos e minimizar os riscos, há a expectativa que os objetivos estratégicos sejam alcançados, e com os recursos bem administrados, haja a manutenção de empregos, da saúde financeira da empresa, e da cadeia de valor (SCHIEMER VARGAS *et al.*, 2013).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo está estruturado em cinco capítulos, e o conteúdo de cada capítulo é descrito a seguir.

No Capítulo 1, é apresentado o tema de pesquisa, de forma a ratificar a importância estratégica da gestão de portfólio. O capítulo inicia com uma visão geral dos desafios enfrentados pelas organizações, e em seguida, destaca a aplicação as técnicas da Pesquisa Operacional através do sistema de informação de apoio a decisão proposto para suportar o processo decisório. Neste capítulo, a delimitação do tema é justificada, e são apresentados os objetivos geral e os específicos da pesquisa.

O Capítulo 2 é dedicado à fundamentação teórica e revisão bibliográfica, proporcionando a base teórica e conceitual relevante ao tema de pesquisa. Exploram-se os principais elementos para a compreensão do estudo, os conceitos-chave voltados à gestão de portfólio, as técnicas da Pesquisa Operacional aqui aplicadas e outros elementos necessários para a compreensão do presente estudo.

O Capítulo 3 é voltado à metodologia adotada, e além de apresentar definições importantes como a classificação da pesquisa, a abordagem, universo e a amostra para desenvolvimento da pesquisa, realiza a fundamentação do modelo matemático. Na segunda parte, guia o leitor a um exemplo para melhor compreensão do modelo matemático proposto.

No Capítulo 4, o sistema de informação de apoio a decisão é apresentado, bem como as características e funcionalidades, os algoritmos utilizados, com um detalhamento maior de demais itens no apêndice A.

O Capítulo 5 aborda o estudo de caso, com a caracterização da empresa, e as informações sobre o processo de seleção atual para composição de portfólio. Neste capítulo temos informações sobre a coleta, tratamento e a utilização dos dados utilizados.

No Capítulo 6 são apresentados os resultados e discussão obtidos com a utilização do sistema de informação de apoio a decisão na priorização dos itens do portfólio com as técnicas da Pesquisa Operacional, destacando os benefícios encontrados com a abordagem proposta.

Por fim, apresentam-se as conclusões da pesquisa desenvolvida. São enfatizados os impactos sociais e econômicos, além de descrever as limitações encontradas durante a aplicação da abordagem. O capítulo também discute possíveis trabalhos futuros associados ao tema, fornecendo uma visão sobre a continuidade da pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Demonstrar os fundamentos na gestão de portfólio de projetos, bem como compreender técnicas e práticas existentes relacionados ao tema é essencial para o contexto desta pesquisa. Desta forma, neste capítulo exploramos os conceitos, teorias, metodologias, e algumas técnicas que guiam a gestão de portfólio de projetos principalmente referentes a seleção e priorização. A possibilidade de navegar por alguns elementos fundamentais permite uma visão ampla sobre o tema, as estratégias e abordagens aplicadas em outros estudos na otimização de portfólios e compreensão das complexidades e desafios existentes.

2.1 GESTÃO DE PORTFÓLIO E SUA IMPORTÂNCIA

As pesquisas e conceitos no que concerne a gestão de portfólio ou dos investimentos corporativos não são novos, e veem sendo objeto de estudos associados a estratégia organizacional, com diversas abordagens que visam identificar as vantagens competitivas para a organização que uma boa seleção e priorização podem promover (KILLEN *et al.*, 2012). Há estudos que atribuí a tétrade tempo, qualidade, orçamento e atendimento às necessidades dos clientes, como a relação entre projetos dentro do mesmo portifólio e o sucesso organizacional (BELLIVEAU; GRIFFIN; SOMERMEYER, 2002).

A gestão de portfólio busca organizar projetos e programas de uma organização qualquer com o intuito de alcançar os melhores resultados, gerir os riscos e assegurar a estratégia organizacional, levando em consideração os recursos disponíveis. Importante frisar que a complexidade na gestão tende a aumentar, desta feita, os controles são fundamentais, bem como são importantes procedimentos, mecanismos e sistemas no suporte ao processo decisório não só na revisão dos itens do portfólio, mas na inclusão de novos itens (LOPES *et al.*, 2012).

A gestão de portfólio pode ser conceituada como uma gestão centralizada com o objetivo de alcançar os objetivos estratégicos, ou ainda, pode ser visualizada como um conjunto de atividades dinâmicas no qual toda e qualquer organização utiliza os recursos disponíveis para alcançar objetivos estratégicos através de uma série de atividades (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017). E no contexto da importância desta gestão de portfólio, é importante compreender que os produtos e

serviços criados pelos projetos servem de fontes geradoras de riqueza para a organização, e ao conduzir o sucesso dos projetos com a alocação dos recursos e definição de responsáveis para alcançar os objetivos organizacionais passam a ser elementos essenciais (INCOSE, 2006).

Alguns estudos atribuem o sucesso na gestão de portifólio como um sistema de várias dimensões, onde a efetividade, o sucesso do portifólio em si, e consequentemente o sucesso da organização são relacionados ao sistema de gestão de portifólio de projetos (JONAS, 2010). Associado ao fato de que estar-se falando na seleção, considera-se a gestão de portifólio como um processo decisório para a alocação dos recursos, e apesar de muitas vezes ser um conceito econômico para fundos de investimentos, pode ser atribuído para otimizar os resultados da empresa, tendo em vista que busca maximizar lucro, reduzir riscos, atender objetivos individuais e preferências coletivas.

Popular nos tempos atuais, métodos ágeis são amplamente utilizados em portifólios e sua seleção, e possuem estudos amplamente promulgados na comunidade cientifica, sendo alguns elementos que fazem parte do processo (STETTINA; HÖRZ, 2014): um mapeamento do caminho a ser trilhado, que envolve questões como a estratégia organizacional, e como alinhar a mesma com a gestão de portifólios; identificação e direcionamento de ideias ao longo do projeto para melhores resultados; revisão e priorização de atividade na busca do melhor equilíbrio do processo gerencial, facilitando o processo decisório e a comunicação; e alocação de recursos existentes e a delegação de um conjunto de atividades para a equipe, que por sua vez promove a interação entre os membros que a compõem. Apesar de muitos elementos serem subjetivos na abordagem com métodos ágeis, o sucesso na gestão de portfólio de projetos sempre passa pelo alinhamento entre a estratégia do negócio, a maximização de valores para os interessados nos resultados dos projetos, e o gerenciamento de riscos (CONSTANTINO; DI GRAVIO; NONIO, 2014).

No contexto da gestão de portfólio, o tamanho do projeto em si não é fator de relevância; projetos de pequeno porte, principalmente num cenário em constante mudança mercadológica, concorrem simultaneamente pelos recursos disponíveis e podem criar diversos problemas. Sendo assim, a priorização e o compartilhamento de recursos na gestão de portfólio é um desafio, e por vezes muitas organizações não compreendem os problemas causados por uma gestão ineficiente (LARSON,

2018). A gestão de portfólio se beneficia quando suportada por sistemas de informação, não só pelo uso do sistema em si, mas também pela padronização dos processos oriunda da adoção dos sistemas, o que resulta numa melhor alocação de recursos, priorização de atividade, e monitoramento dos resultados (KOCK *et al.*, 2020). Considera-se que existem diversos elementos que podem ajudar a gestão de portfólio, não cabendo apenas aos gestores de forma univalente as decisões, pois por vezes, os decisores, devido à complexidade existente, não conseguem que os portfólios estejam alinhados com os objetivos, o que inibe os bons resultados e a exploração de novas ideias e maior agilidade no processo de gestão (BECHTEL; KAUFMANN; KOCK, 2023).

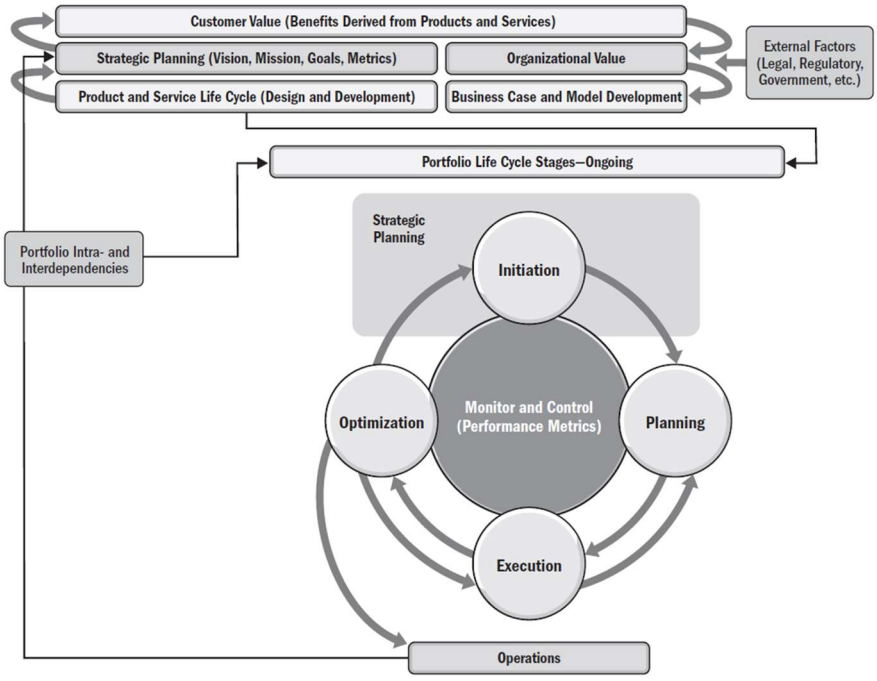
É salutar informar que muitas organizações possuem portfólio de projetos em paralelo e em diferentes estágios de execução tornando o planejamento e a gestão relevantes (LARSON, 2018). Apesar dessa importância há de se expressar que muitos estudos não possuem um modelo sistemático aplicado para o processo de seleção, o que pode ocasionar decisões equivocadas (AFSHARI, 2015). Encontrar a melhor forma de gerir o portfólio e os itens que irão compor, maximizando os recursos disponíveis, ou minimizando riscos e custos, é a melhor estratégia a nível organizacional, para evitar insucesso nos projetos (BHATTACHARYYA, 2015).

2.1.1 Padronização na gestão de portfólio

Há na literatura a padronização dos processos de gestão que definem as características que devem existir na gestão de portfólio, entre elas, a representação de como através do portfólio a empresa irá atingir os objetivos estratégicos, e ainda como os investimentos serão priorizados pela organização para alcançar a estratégia definida (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017). No contexto da gestão dos processos de uma organização, há ênfase de que os processos suportem políticas, procedimentos, guias, e direcionamento para que a organização possua uma gestão efetiva do portfólio (INCOSE, 2006). Em concepções com cultura consideradas ágeis, a gestão de portfólio habilita a estratégia e os investimentos da organização, e ajuda o paralelo de estratégia com a execução, com definição de papéis, eventos, e artefatos para manter a responsabilidade em alcançar os objetivos do negócio (KNASTER; LEFFINGWELL, 2020).

O processo de padronização na gestão de portfólio envolve a utilização de ciclos de vida com etapas que incluem a iniciação, o planejamento, execução, e a otimização no intuito de balancear a estabilidade com a resiliência, e durante o processo, informações e decisões estão presentes nestas etapas conforme Figura 1 (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017). Em outros contextos, a padronização serve para definir o trabalho a ser executado, proporciona que atividades sejam realizadas em conjuntos de pequenas atividades, buscando reduzir as filas no fluxo de execução de atividades. Tudo isso aliado ao fato de que o progresso na execução das atividades esteja relacionado à capacidade disponível de execução, tendo diversos elementos, dentre eles, o fluxo do processo, a visão do portfólio e a preocupação com alocação de recursos conforme Figura 2 (KNASTER; LEFFINGWELL, 2020).

Figura 1 - Ciclo de vida do portfólio e suas etapas



Fonte: The Standard Portfolio Management 4th Edition (2017).

Observando a Figura 1, pode-se compreender que as fases do ciclo de vida, apontadas na metodologia, seguem um fluxo continuado principalmente nas etapas de planejamento, execução e otimização. O fluxo em si é alimentado por diversos fatores desde questões externas, a fatores como indicadores, e ainda levando em consideração o valor organizacional.

Figura 2 - Elementos do portfólio

Fonte: Scaled Agile Framework (2023).

Mesmo contextualizando uma metodologia diferente na Figura 2, pode-se visualizar elementos comuns, como os indicadores, o fluxo do portfólio e o alinhamento com os temas estratégicos da organização. Apesar de existirem elementos diferentes, como por exemplo *Big Data*, o contexto de etapas e a retroalimentação dos processos na gestão de portfólio estão sempre presentes.

Além dos padrões da indústria já apresentados, existem outros, contudo, o aspecto mais relevante é que haja a adoção do que se adeque melhor ao modelo de negócio, assim haverá uma maior probabilidade de sucesso organizacional e uma gestão mais efetiva (IM; NAM; CHO, 2020). Desta forma, é importante que haja uma formalização do processo, pois isso possibilita aos decisores evitar decisões baseada em questões políticas, reduz a carga cognitiva, e permite que os decisores consigam compreender melhor os detalhes dos projetos (RÖTH; SPIETH; LANGE, 2019).

É salutar que os processos na gestão de portfólio devam possibilitar o alcance de diversos objetivos, entre eles o objetivo estratégico, e isso só é possível com informação disponível e uma metodologia clara para o sucesso na gestão de portfólio (TESLIA *et al.*, 2023). A questão da padronização é ainda mais latente se observarmos pesquisa conduzida por comunidades internacionais de gestão de projetos que envolveu o Instituto de Engenharia de Software (SEI), o Instituto de Gestão de Projetos (PMI), a Associação Internacional de Gerenciamento de Projetos (IPMA), o Escritório de Comércio do Governo (OGC) e a Organização Internacional de Normalização (ISO), que conseguiram demonstrar que as organizações com alta maturidade gerencial na gestão dos portfólios de projetos tem maior facilidade de alcançar os objetivos propostos do que aquelas que não identificam e nem padronizam as melhores práticas de gestão (NIKOLAENKO; SIDOROV, 2023).

Apesar de estudos se voltarem mais aos padrões mais comuns adotados na indústria em geral, como por exemplo a Engenharia de Sistemas, em detrimento das práticas e atividades principais desempenhadas, é importante destacar que não deve haver uma regra rígida a respeito de qual padrão adotar, afinal, sugere-se que as práticas na gestão de projetos do *Project Management Institute* (PMI) sejam adotadas na Engenharia de Sistemas na gestão do portfólio no intuito de obter uma melhor descrição no ciclo de vida do processo, aborde uma melhor relação entre as atividades na gestão de projetos, bem como existam princípios para gestão de portfólio (SPECKING; PARNELL; POHL, 2020). A padronização em si não está apenas associada a padrões da indústria. Por vezes é possível que existam fases identificadas em boas práticas em algumas organizações, como por exemplo, descobrir que a gestão de portfólio está baseada na vigilância do ecossistema, desenvolvimento da estratégia de portfólio, gestão de casos de negócios, tomada de decisão do portfólio e desenvolvimento de novos produtos, e essas boas práticas corroboram com as metas de estratégias e desempenho a serem alcançadas (GUPTA; PARK; PHAAL, 2022).

Numa análise a respeito do que há disposto na literatura, foram identificados alguns pontos fundamentais, como as práticas para definição de estratégias, sistemas e critérios para seleção de projetos e priorização, otimização e alocação dos recursos, o desempenho dos projetos, e a vantagem competitiva, sendo evidenciado em um estudo de caso que não houve identificação dos processos formais, e a falta de alinhamento da estratégia com o portfólio, o que impacta negativamente os resultados (CRUZ; ARAUJO, 2021). Em contraste, em outro estudo de caso, com a adoção de técnicas de Pareto e não visando identificar soluções matematicamente ótimas, demonstrou-se que a adoção de técnicas de otimização combinadas a gestão de portfólio traz os melhores resultados aos decisores, reduzindo viés indutivo, e proporcionando a adoção de melhores práticas de gestão (DI MATTEO; MAIER; DANDY, 2019).

Considerando não só a adoção de uma padronização com as melhores práticas, mas também técnicas que podem ser adicionadas, observa-se que o sucesso na gestão de portfólio não está relacionado apenas a uma ferramenta ou técnica, mas do compromisso para adoção e uso. Amplia-se a este contexto, que os critérios para seleção e priorização dos itens do portfólio constituem uma parte vital para o sucesso do portfólio numa visão que considera projetos viáveis e estratégicos

para alcançar os objetivos organizacionais (OOSTUIZEN; GROBBELAAR; BAM, 2018).

2.2 TÉCNICAS NA SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PORTFÓLIOS

Os critérios de seleção e priorização de portifólio podem ser diversos, mas é importante que esses métodos sejam aplicados e utilizados quando existe clareza para aqueles responsáveis pela tomada de decisão (KERZNER, 2006). Apesar de não haver um consenso em qual método utilizar, e cada organização pode escolher o conjunto de critérios, é necessário estar atento que a escolha por critérios ruins ou incompletos podem induzir a decisões que levem a falha na estratégia organizacional e por consequência impactar negativamente os interesses e resultados (PADOVANI *et al.*, 2008). O equilíbrio nesse processo de priorização e seleção não é uma tarefa tão simples, afinal, a complexidade das organizações em conjunto com as mudanças no ambiente externo aumentam mais a complexidade, sabendo-se ainda que aspectos legais, e mudanças nos padrões de consumo de um produto ou serviço são difíceis de prever com grande exatidão (JUGEND; FIGUEIREDO, 2017).

A utilização dos modelos *Fuzzy Front End* (PARK; HAN; CHILDS, 2021), *pipeline* (JUKUNEN, 2014), e *stage-gate* (COOPER; SOMMER, 2020) são técnicas de seleção difundidas na seleção de portfólio, associadas a outras técnicas ou não, que possuem aplicações até a presente data. Há ainda a abordagem utilizando simulação de Monte Carlo em um procedimento com duas fases considerando restrições de alguns projetos em outro estudo de caso (SHAKHSI-NIAI *et al.*, 2011). Uma outra abordagem considerando a simulação de Monte Carlo, mais focada em índices globais de projetos, foca no retorno do investimento em cada projeto utilizando distribuições de probabilidade, com o indicativo de que quanto maior o valor do retorno, mais atrativo é o projeto (DUTRA; RIBEIRO; DE CARVALHO, 2014).

Com ênfase na área de Tecnologia da Informação, um estudo realizou uma revisão da literatura em modelos de gestão de portfólio, e entre as observações, existe uma crítica em relação a rigidez dos modelos. Na perspectiva das abordagens, este estudo ainda cita métodos de priorização de caráter econômico que utilizam modelos matemáticos para constituir o portfólio, sendo estes,

multicritérios, métodos interativos como o Delphi e o Q-Sort, abordagens qualitativas, bem como a combinação de modelos para a seleção, priorização e gestão de portfólios (SARI; SULISTIYANI; MEUTIA, 2023). Em outro contexto, já em questões de mercado imobiliário, observa-se a gestão de portfólio nas perspectivas de retorno, risco, e do desempenho, com o estudo tendo revelado a adoção de diversas técnicas de avaliação de desempenho acompanhado sempre das práticas de gestão de portfólio (OLOKE; ODETUNMBI; AKINWUMI, 2022).

Extremamente popular na atualidade, as técnicas de aprendizagem de máquina têm sido aplicadas na gestão de portfólio, num contexto de avaliar o risco e retorno do portfólio. Essa abordagem baseada no desempenho no que diz respeito a regulação e validação cruzada com aprendizagem de máquina denota maior robustez principalmente por analisar restrições não triviais (BAN; KAROUI; LIM, 2018). Testando diversos algoritmos de aprendizagem de máquina e otimização, dentre eles *K-Means*, Algoritmo Genético, Colônia de Abelhas, Otimização por partículas de enxames, entre outros, teve-se como principais resultados a seleção e classificação de portfólio com a clusterização, otimização do portfólio com meta-heurísticas, e a gestão de portfólio com janelas deslizantes como melhores abordagens para o monitoramento e gestão de portfólio em tempo real (AITHAL *et al.*, 2023).

Ainda, com a aplicação de Redes Neurais simulando fatores econômicos e a relação de investimentos, o modelo permitiu a combinação de técnicas e proveu resultados melhores na análise de ativos e sua relação macroeconômica na otimização de portfólio (YU; CHANG, 2020). Ainda no aspecto de otimização de portfólio, diversas técnicas foram empregadas para maximizar o lucro e reduzir riscos, com isso, métodos evolucionários se mostraram eficientes, inclusive métodos com evolução quântica também se mostraram promissores (GUNJAN; BHATTACHARYYA, 2023). A combinação de dados históricos com probabilidade também pode ser observada, com a revisão de diversos estudos que se utilizam da técnica de Monte Carlo entre outros métodos, sendo encontrado como principais resultados: (i) a utilização de projeções futuras como uma abordagem melhor do que dados históricos, (ii) que dados históricos quando combinados com a técnica de Monte Carlo pode capturar as incertezas, e que (iii) as técnicas probabilísticas constituem excelente abordagem para a gestão de portfólio (CHENG; SHADABFAR; SIOOFY KHOOJINE, 2023).

Contextos de gestão de portfólio, com suas técnicas aplicadas, podem ser bem específicos, como por exemplo, aplicar um framework de arquitetura unificado para suportar a gestão de portfólio pode promover diversos benefícios: uma melhor visão estratégica para lidar com desafios, melhor visão estratégica do processo com fases mais claras que possibilitam melhor uso da capacidade existente, visão estratégica das fases para alcançar os resultados esperados e a relação com desafios e oportunidades, e a visão estratégica da informação, que nesse caso identifica os elementos essenciais para alcançar objetivos (MARTIN, 2002). Um método proposto para evitar riscos nos investimentos utilizou a abordagem do ajuste de curvas e possibilitou encontrar as melhores referências de resultados na gestão de múltiplos portfólios por um longo período, sendo o proposto menos dependente da opinião de especialistas (MAJI *et al.*, 2021). Enquanto as propostas descritas oferecem benefícios valiosos, estas são conceituais e visuais e ficam limitadas pela ausência das utilidades elicitadas do decisor.

A possibilidade de aplicar o método de Shapley para seleção de projetos já fora realizada com a ideia central de integrar patentes de portfólios que possam trazer parceiros com interesses comuns agregando maior valor, bem como levando em consideração os recursos e as capacidades tecnológicas (SONG; SEOL; PARK, 2016). Contudo, enquanto o modelo proposto por SONG, SEOUL e PARK concentra-se nas patentes e avaliações de coalizões de jogos, este estudo busca aprimorar a eficiência e a aplicabilidade da gestão de portfólios por meio de uma abordagem orientada para a otimização de projetos individuais.

Os valores de Shapley podem ser conceituados como um vetor de recompensa que possibilita uma solução justa para jogos com mais de uma pessoa, apresentando um valor que reflete a participação de cooperação de um determinado número de jogadores, em que a racionalidade de grupo e o valor de cada jogador é mensurado por essa coalizão no jogo cooperativo (WINSTON; GOLDBERG, 2004). Como exemplo, a combinação de Shapley com outras técnicas, em um modelo para estudo sobre priorização de investimento em energias renováveis utiliza lógica *Fuzzy* para definir custos e em seguida aplica valores de Shapley para definir a contribuição de cada jogador na estratégia (DINÇER; YÜKSEL; MARTINEZ, 2022). Seguindo o contexto dos valores de Shapley, uma determinada abordagem com o objetivo de avaliar a precificação de imóveis de regiões do Brasil com uso de técnicas de aprendizado de máquina possibilitou verificar quais impactos os

indicadores socioeconômicos possuem sobre a preço do metro quadrado de imóveis de determinada região, o que permite expandir ainda mais a visão para o uso em gestão de portfólios (LIMA; SILVA, 2023).

No caso da do problema da mochila aplicações preocupadas com o valor do portfólio são analisadas na perspectiva do mercado financeiro fazendo uso de recursos computacionais (JEZEIE; SADJADI; MAKUI, 2022), onde a ênfase está na maximização dos retornos, sem uma consideração detalhada da singularidade de cada projeto no contexto da seleção de portfólios. É possível também encontrar na literatura recente a combinação do problema da mochila com outras técnicas para que o portfólio de projetos seja definido (TAVANA; KHALILI-DAMGHANI; ABTAHI, 2013. O referido estudo de Tavana, Khalidi-Damghani e Abtahi (2013) aborda aspectos utilizando métodos evolutivos e modelos DEA para refinamento de soluções, sem uma análise explícita da contribuição marginal de cada projeto para o portfólio.

A aplicação conjunta do método de Shapley com o problema da mochila busca representar um jogo cooperativo denominados jogos orçamentários, focado nas restrições orçamentárias, voltada a destacar a complexidade computacional dos valores de Shapley, a fim de encontrar uma solução melhor do que alguns algoritmos. No entanto, essa abordagem se concentra em jogos cooperativos com limitações de orçamento, não sendo essencialmente voltada para a seleção de portfólios de projetos. (BHAGAT *et al.*, 2014).

2.3 GESTÃO DE PORTFÓLIO E O ALINHAMENTO ESTRATÉGICO

Alinhar os projetos com a estratégia das empresas consiste no uso correto dos recursos organizacionais, e neste contexto os critérios de seleção devem assegurar que cada projeto contribui para objetivos estratégicos. Além disto, administrar os recursos existentes assumindo que a alocação deve ter o foco na efetividade e eficiência de recursos que são limitados no projeto, entre eles, e em futuros projetos (PLATJE; SEIDEL; WADMAN, 1994) também contribuem para os objetivos estratégicos. Não se pode deixar de citar que a coordenação contínua, que inclui o monitoramento e alinhamento com a estratégia, assim como o desenvolvimento de medidas de correção de possíveis desvios, constituem fatores de relevância (HENDRIKS; VOETEN; KROEP, 1999). Há ainda o aprendizado

organizacional no ciclo de vida de um projeto, que constitui a fase final de revisão e lições aprendidas (MÜLLER; MARTINSUO; BLOMQUIST, 2008).

A construção de portfólio para alcançar a estratégia empresarial é uma realidade complexa, mas possível, ainda mais com multiobjetivos, sendo abordado em estudo com foco no crescimento de longo prazo, onde a metodologia aplicada possibilita uma visão empresarial de como gerir os portfólios de tecnologia da informação, determinando qual investimento deve ser realizado utilizando os recursos disponíveis em um esforço coordenado em todas as unidades de negócio (HUANG *et al.*, 2021). Caso não existam objetivos específicos para a gestão de portfólio é possível que os recursos utilizados para alcançar os resultados estratégicos se tornem um desafio maior do que o devido, principalmente para as empresas orientadas ao cliente e focada em inovação, desta feita os objetivos estratégicos pela gestão de portfólio devem ter indicadores e metas de acordo com a visão da companhia e guiadas pela compreensão de como atender as necessidades do negócio (MUSTONEN *et al.*, 2020).

É verdade que ao longo dos anos os portfolios de negócios se tornaram mais complexos e demandam mais atenção. Ainda associado a isso, o aumento da interdependência de atividades e uma integração de negócios na forma de gerar valor que atua como parte de um ecossistema integrado aumentam os desafios, sendo necessária grande sinergia para a gestão, que por vezes é suportada por dados, e tecnologias digitais (WESTERVELD *et al.*, 2023). Encontra-se assim na literatura métodos orientados a dados, que é uma solução viável para a estratégia do portfólio e desdobrando na estratégia do negócio, e com foco na otimização de três funções utilitárias a saber: o retorno equivalente, o risco e a rotatividade. A combinação de estratégias explora melhor os pontos fortes do portfólio por se adaptar a diferentes condições do mercado (BONACCOLTO; PATERLINI, 2020).

A efetivação do planejamento estratégico não está associada a existência ou não de um plano, mas sim a deliberação do mesmo por meio do processo decisório (HAUSER; EGGERS; GÜLDENBERG, 2020). Pode-se assumir que o processo decisório possui um impacto na saúde financeira da empresa, pois estratégias maduras impactam nos resultados para o negócio; e uma empresa numa posição de vantagem competitiva com o mercado, prospecta melhor e possui um impacto negativo menor (WANG *et al.*, 2021). Por vezes, os decisores dependem do contexto que estão inseridos. Por exemplo, é possível identificar que o uso de

métodos multicritérios na gestão de portfólios com alinhamento estratégico no mercado de biocombustíveis difere muito do uso da mesma metodologia em outros contextos, afinal os decisores se baseiam nas próprias especialidades (SANAEI; STUART, 2018). Na indústria imobiliária, a tomada de decisão é influenciada por questões regionais específicas, o que desafia o decisor na diversificação do portfólio (ANTONAKAKIS; CHATZIANTONIOU; GABAUER, 2021). No contexto da música digital, as decisões constantes são necessárias para estabelecer novas formas de colaboração e lidar com adversidades de colaborações remotas, bem como reduzir custos (NASTA; PIROLO; DI FABIO, 2023). E mesmo que haja o suporte de indicadores, se faz necessário ter consistência, pois os recursos e o tempo são limitados para avaliar todos os indicadores possíveis, e com isso a decisão alinhada a estratégia permite o foco apenas nos indicadores mais relevantes (GOVINDAN *et al.*, 2021).

A adoção de ferramentas e artefatos na análise de dados vem sendo amplamente utilizada para o planejamento, maximização de lucros, bem como na promoção de métodos de apoio a decisão, tudo isso associado a tecnologias como Computação nas Nuvens e *Big Data,* permitindo assim decisões mais rápidas e de qualquer lugar (NIU *et al.*, 2021). O uso de algoritmos também pode ser adotado para as decisões em portfólios, realizando análises com o uso de dados históricos (STOILOV; STOILOVA; VLADIMIROV, 2022). De forma geral, o uso de ferramentas que colaboram com a estratégia permite ao negócio respostas rápidas aos desafios e a administração de equipe em imprevistos, agindo de forma efetiva (NETZ; SVENSSON; BRUNDIN, 2020).

No intuito de reduzir incertezas e objetivos conflitantes, técnicas da pesquisa operacional foram aplicadas para visualizar a compensação dos objetivos e para análise de decisão do portfólio (BAKER; BOSETTI; SALO, 2020). Observa-se, por exemplo, a utilização de métodos multicritérios para a ponderação, fornecendo melhores modelos na gestão de manutenção de indústrias do agronegócio, melhorando o sucesso na gestão de recursos e da manutenção em si (SOLTANALI; KHOJASTEHPOUR; KHEYBARI, 2023). Em outra abordagem analisando os níveis de estoque para agendamento da produção, uma integração de modelos de pesquisa operacional foi adotada para melhorar a flexibilidade inerente ao processo (TRIGEORGIS; TSEKREKOS, 2018).

A versatilidade da pesquisa operacional permite sua aplicação num problema relacionado a escolha de candidatos a uma vaga para professor, o que requer atenção aos critérios, pesos; sendo assim, aplicando-se técnicas da pesquisa operacional foi possível criar uma nova abordagem reduzindo a complexidade da tomada de decisão, a automação de alguns etapas, a não perda de dados, com o procedimento de transformação de dados para suporte a decisão sendo reduzido (KADOIĆ; DIVJAK; BEGIČEVIĆ REĐEP, 2019). Destaca-se essa versatilidade na tomada de decisão ao analisar os resultados obtidos em estudo sobre viés indutivo na tomada de decisão, observando-se que há diferença entre os valores atribuídos por computadores em comparação aos ser humano, propondo-se uma solução de evolução dos resultados encontrados por máquinas, e que a percepção de valor se altera com o tempo demonstrando o quanto o decisor humano pode ser influenciado a partir de fatores internos e externos (GUERREIRO, 2022).

2.4 DESAFIOS NA GESTÃO DE PORTFÓLIO

Existem desafios dos mais diversos na gestão de portfólio, e como os recursos são limitados e os riscos existentes, o decisor precisa estar atento a qual abordagem adotar. Em determinado estudo na indústria de energia, oferta e demanda fazem parte de uma relação econômica e sustentável no que diz respeito a geração de energia, e a integração com energias renováveis, contudo encontrar o portfólio ótimo de capacidade não é tarefa simples, e requer a visão da flexibilidade do sistema que pode fazer usos de processos estocásticos para tal (GÄRTTNER; FLATH; WEINHARDT, 2018). Por vezes, a gestão de portfólio passa por desafios de seleção complexos, como é o caso na área de saúde, onde o envelhecimento populacional, a alta demanda pública pelo serviço médico, e a escassez de mão de obra requiriu a adoção de DEMATEL e ANP para a gestão de saúde inteligente (YANG; HSU; WU, 2022).

A independência dos múltiplos projetos concomitantes tornou-se um problema, pois a avalição de riscos e o compartilhamento de recursos tornam-se mais complexos. Neste caso, uma rede bayesiana funcional para avaliar o risco dos recursos compartilhados combinada ao conhecimento de especialistas e às probabilidades de ocorrência busca identificar esses fatores para melhorar o domínio no gerenciamento dos projetos (BAI *et al.*, 2020). Existem informações diversas na

literatura sobre critérios para priorizar projetos, mas não existem ferramentas de agendamento que permitam a gestão de portfólio considerando as prioridades de uma organização. Portanto, o desenvolvimento de um algoritmo para resolver a alocação de recursos em um portfólio foi adotado, levando em consideração as prioridades da empresa, em que o referido algoritmo prioriza os projetos durante a fase de agendamento de atividades (VILLAFÁÑEZ *et al.*, 2020). O uso de heurísticas para o agendamento de recursos para projetos foi a abordagem adotada em estudo para lidar com a complexidade de se ter múltiplos projetos e evitar os atrasos devido à restrição de recurso qualquer (VILLAFÁÑEZ *et al.*, 2019).

A complexidade para projetar e otimizar a lucratividade na composição de um portfólio levou ao uso de inteligência artificial que é aplicada para aprender as negociações e gestão de portfólio, bem como obter informações espaciais e temporais (SYU; WU; HO, 2020). No caso de fundos mútuos de gestão, com políticas de investimento, a utilização de métodos de desempenho não paramétricos se fez necessária com a aplicação de análise envoltória da dados, como o gerenciamento das ineficiências para melhorar os resultados (GALAGEDERA, 2019). Para realizar uma aproximação de um ativo de investimento houve a combinação de simulação com regressão, contudo, questões técnicas na decomposição do portfólio de investimentos mostrou algumas imprecisões, demonstrando que a base de dados não era o suficiente para o tipo de análise (MAIER, 2021).

Nos ativos relacionados a gestão de portfólio é possível que impactos relacionados ao clima ou outros eventos inesperados possam impactar diretamente estes ativos, e desta forma constatou-se que após perdas operacionais, as seguradoras apostam em títulos corporativos em diferentes categorias e dos mais variados riscos (GE; WEISBACH, 2021). No que diz respeito ao monitoramento dos projetos, se faz necessário agregar dados em portfólio de projetos e enfatizar a necessidade de metas comuns, indicadores comuns e uma coleta e uso estruturado dos dados, adicionando ainda a necessidade de mudança cultural para que a tomada de decisão baseada em evidências seja a regra (STEPHENSON, 2019). Uma abordagem hibrida utilizando modelos de classificação e regressão combinados e baseados em gráficos se fez necessária para a seleção da composição de ativos de portfólio de forma autônoma (KIM; KIM; LEE, 2020).

2.5 TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES NA GESTÃO DE PORTFÓLIO

Com os desafios na gestão de portfólio surge a necessidade do desenvolvimento e a aplicação de novas técnicas, o que leva ao surgimento de algumas tendências para inovar e obter melhores resultados. Dessa forma, a combinação da gestão de portfólio com o ecossistema circular em projetos de inovação levou à identificação de que as orientações estratégicas moldam as decisões das empresas no que diz respeito aos projetos, metas e configuração do sistema circular, sabendo-se que a inovação em um ecossistema circular envolve um processo crítico e único para entes externos e exige a organização gerar, selecionar e executar projetos que melhorem o próprio ecossistema (GOMES *et al.*, 2023).

Para pequenas empresas, a inovação na gestão de portfólio também está presente. No trabalho de Pashley et al., (2020) foi criada uma abordagem sintetizando as estruturas da inovação com riscos identificados e o contexto, que estava de acordo com a necessidade de uma pequena empresa em desenvolver um método capaz de capturar as informações mais coerentes para a tomada de decisão. O uso de técnicas de inteligência artificial se tornou comum em diversas abordagens, o que pode ser observado em determinado estudo bibliométrico, onde após se analisar mais de trezentos artigos publicados entre 2011 e 2021, foram encontradas diversas referências com tópicos sobre previsão de falência, predição de preços, gestão de portfólio, entre outros (AHMED *et al.*, 2022). A inteligência artificial também encontra espaço em simulação realizada para tomada de decisão sobre investimentos de geração de energia fotovoltaica, e dessa forma foi possível calcular o investimento em fases ou de forma única, tendo o modelo aplicado favorável ao primeiro (BANGJUN *et al.*, 2022).

As inovações ditas disruptivas oferecem uma mudança de paradigma na dinâmica atual do mercado sobre determinado serviço ou produto, e não é diferente na gestão de portfólio, onde a abordagem traz que a gestão de portfólio disruptiva é desafiadora por inicialmente apresentar valores divergentes dos atuais. A visão holística da gestão de portfólio no mesmo contexto foca na identificação, avaliação e seleção dos itens mais promissores para o portfólio, e a criação do portfólio baseado nos itens selecionados de acordo com orçamento necessário para a realização (WEINREICH *et al.*, 2022). Empregar diferentes medidas de risco para descrever

dados subjacentes tem sido uma abordagem na otimização de portfólio, e isso sem mencionar a utilização de modelos híbridos, aprendizado de máquina, otimização combinatória estocástica, em diferentes áreas de aplicação para a gestão de portfólio (DOERING *et al.*, 2019).

Com o intuito de estudar portfólio e as alianças tecnológicas na inovação da gestão do conhecimento, determinado estudo concluiu que essa aliança contribui para inovação, com a implicação conceitual que o conhecimento gerencial dos portfólios pode implicar em atividades além das intraorganizacionais, pois podem melhorar os processos essenciais da organização (ESTRADA VAQUERO; ZHOU, 2022). A sugestão de um modelo de formação eficiente de portfólio de projetos possibilita claramente o objetivo da gestão de portfólio e como alcançar os resultados, mas se faz necessário que os dados tenham qualidade suficiente para fornecer as informações, demonstrando que o uso de dados têm sido amplamente utilizado, e pode ser colocado em prática em outros modelos como analise multivariada, estimativa de confiabilidade de sistemas, planejamento de experimentos, entre outros (TITARENKO *et al.*, 2018).

A inovação precisa de metas claras que só podem ser obtidas de forma explicita, além isso, a avaliação e gestão de portfólio deve fazer uso de métodos analíticos dos mais sofisticados disponíveis, sendo possível permitir que a equipe responsável pela gestão de portfólio encontre os melhores resultados que é uma questão central na estratégia organizacional (SI; KAVADIAS; LOCH, 2022). Com isso, o uso de gráficos, por mais que as técnicas evoluam, não podem ser descartados. Gráficos em geral demonstram o desempenho das variáveis de gerenciamento de portfólio e esse monitoramento tem uma relação direta entre o sucesso do portfólio e da organização, desta forma, inclusive com o uso de gráficos, é possível identificar os efeitos de uma variável sobre outras (KOCK; GEMÜNDEN, 2021).

Determinado estudo sobre fatores facilitadores para os gestores de portfólio oferta ideias para ajudar na composição e otimização dos portfólios através de um quadro conceitual em que está estruturada a identificação rápida dos processos de gestão de portfólio e o ambiente adjacente, e possibilita ainda uma visão geral das estruturas desenvolvidas no espaço acadêmico apontando as atividades e desafios a serem observados (ECKERT; HÜSIG, 2022). Utilizar a análise de componentes principais com várias matrizes de correlação para reduzir a dimensão e permitir a

composição de portfólio foi a abordagem para diminuir a complexidade e aproximar os retornos utilizando modelos paramétricos e não paramétricos na composição dos itens do portfólio (NEDĚLA; ORTOBELLI; TICHÝ, 2023).

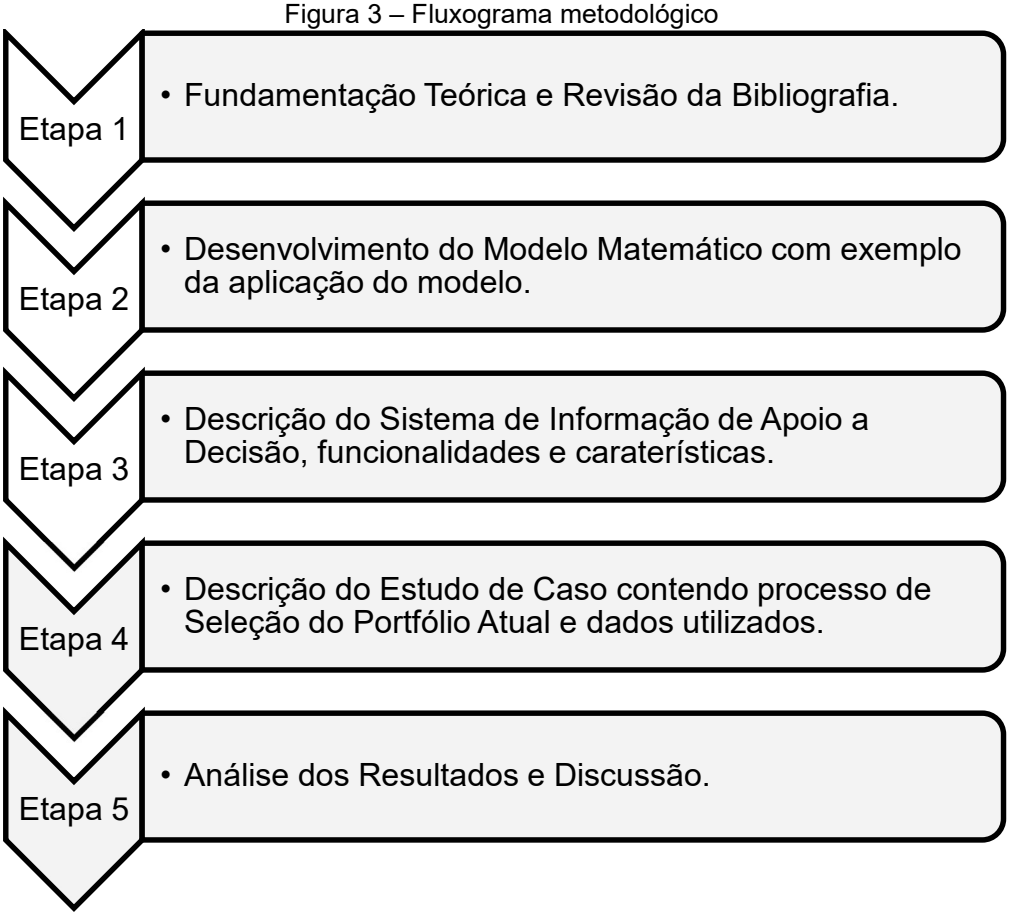
No quesito sustentabilidade, voltado à descarbonização de portfólio, determinado estudo analisou um extenso conjunto de dados de propriedade institucional. Nos resultados, revela-se que os investidores tendem a seguir o caminho da descarbonização, sendo os consultores de investimentos grandes impulsionadores desse pleito. A pesquisa ainda aponta que esses esforços devem continuar para um portfólio mais verde e descarbonizado (BENZ et al., 2020). Além das questões de sustentabilidade, é importante destacar a sinergia entre projetos, conceito que considera a capacidade de projetos individuais complementarem e potencializarem uns aos outros, em que essa interação positiva entre projetos é uma componente fundamental para otimizar o valor agregado ao portfólio, gerando benefícios adicionais quando combinados (DURBACH et al., 2022). Cabe ressaltar que, embora a sinergia entre projetos seja uma área relevante e possui um impacto positivo na gestão de portfólio, sua discussão foge ao escopo específico da pesquisa realizada.

3 METODOLOGIA

Nesta seção iremos descrever a abordagem que será adotada para desenvolvimento da pesquisa, desta forma o processo metodológico é importante passo para a melhor compreensão do leitor no que concerne ao entendimento da abordagem deste referido estudo. Para melhor compreensão da metodologia a Figura 3 compreende o fluxograma adotado, e em resumo, a metodologia pode ser caracterizada da seguinte forma:

- Quanto à natureza: aplicada;
- Quanto à forma de abordagem: quantitativa;
- Quanto aos objetivos: explicativa;
- Quanto aos procedimentos técnicos: estudo de caso.

Figura 3 – Fluxograma metodológico



Fonte: O Autor (2023).

A pesquisa é considerada de natureza aplicada (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2018), tendo em vista que está direcionada a solucionar problema específico que é a

seleção de itens para composição de portfólio de projetos com a maximização dos recursos financeiros disponíveis, tendo uma abordagem quantitativa (GANGA, 2012) já que as bases utilizadas e os resultados das análises se fundamentam em números, bem como as técnicas de Pesquisa Operacional fazem o uso de equações matemáticas aplicadas. A pesquisa possui um processo estruturado, com dados quantitativos, de forma a se apresentar explicativa (GANGA, 2012) com o universo e amostra referentes ao estudo de caso (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2018) de uma empresa do ramo da Construção Civil, que forneceu dados referente a quatro anos de seleção de projetos que compuseram o portfólio de projetos do período citado.

A revisão bibliográfica e fundamentação teórica da etapa 1 na metodologia fomentou as ideias, pensamentos, e estudos relacionados ao tema, na etapa 2 temos a fundamentação dos modelos matemáticos e um exemplo que aplica o modelo matemático para melhor compreensão do leitor. A etapa 3 descreve o produto tecnológico e as funcionalidades, objetivando demonstrar a automação do modelo matemático proposto.

A etapa 4 se preocupa com o estudo de caso, nesta etapa iremos realizar a caracterização da empresa, bem como a descrição do processo de seleção atual para composição do portfólio de projetos. Na etapa 4 também será descrito a coleta, tratamento e a utilização dos dados (DEITEL; DEITEL, 2020), bem como a definição do dicionário de dados. A etapa 5 preocupa-se com as comparações nas escolhas pelos especialistas em comparação ao SIAD apresentando os resultados para discussão.

3.1 VALORES DE SHAPLEY E O PROBLEMA DA MOCHILA

Contextualizar as técnicas da Pesquisa Operacional aplicadas neste referido estudo é de suma importância para a compreensão do modelo proposto, e posteriormente do funcionamento do SIAD, bem como fundamenta a análise dos resultados. Este capítulo irá fundamentar o modelo matemático proposto, abordando as técnicas e explicando como funcionam combinadas para promover a utilidade dos projetos. A primeira técnica é utilizada para atribuir um valor a cada item o que possibilitar classificar a importância os projetos, a segunda técnica utiliza esse valor atribuído em conjunto com o peso e a capacidade disponível para definir quais itens maximizam os recursos na composição do portfólio de projetos.

Diante disso, a primeira aplicação do SIAD consiste em utilizar o método de valores de Shapley (SHAPLEY, 1953), da Teoria dos Jogos, fazendo com que as características dos projetos sejam avaliadas em forma de coalizão. Compreende-se a coalizão como a união que jogadores fazem em detrimento de um objetivo comum a eles; com este objetivo, a teoria dos valores de Shapley estabelece qual a distribuição justa de ganhos para cada jogador de acordo com a colaboração de cada um deles com a coalizão. Sendo assim, a utilização da função de valor de Shapley mede a contribuição de cada jogador, sendo calculada de acordo com a Equação (1):

$$\varphi[i,v] = \sum_{S \in C} \frac{(s-1)!\,(n-s)!}{n!}\,(v(S) - v(S\backslash i)) \qquad (1)$$

Onde:

- i é o jogador para o qual queremos calcular o valor de Shapley;
- s é o número de membros da coalizão;
- S representa uma coalizão;
- C é o conjunto de todas as coalizações possíveis;
- $S\backslash i$ é a coalizão subtraída do indivíduo i;
- n é o número total de jogadores na coalizão;
- $v(s)$ valor da coalizão;

Desta forma, compreende-se que o valor de Shapley em $\varphi[i,v]$ representa o valor para um jogador ou individuo i. A contribuição marginal, ou seja, o impacto da participação de i na coalizão S é o resultado da diferença entre $v(S) - v(S\backslash i)$. É importante estar atento que o resultado da diferença será maior que zero, ou seja, $v(S) - v(S\backslash i) > 0$, pois estamos falando da geração do valor de contribuição e consegue-se assim definir o quanto um indivíduo i qualquer está contribuindo para os membros de S. A parte da formulação descrita pelo termo $\frac{(s-1)!(n-s)!}{n!}$ diz respeito ao número de permutações, o qual indica a probabilidade de um indivíduo i pertencer à coalizão S. O valor de Shapley será atribuído a um projeto aplicando o método nas características comuns a eles, e com isso será possível identificar os itens de maior valor.

Além disso, a expressão $S \in C$ refere-se à pertinência da coalizão S ao conjunto C de todas as coalizões possíveis. Dessa forma, $S \in C$ significa que S é uma coalizão válida a ser considerada no contexto da distribuição justa de ganhos

conforme a teoria dos valores de Shapley. Em outras palavras, o conjunto C abrange todas as combinações possíveis do indivíduo i que podem formar coalizões, e $S \in C$ garante que a coalizão S está dentro desse conjunto abrangente de possibilidades. Isso é crucial para garantir que a distribuição de ganhos seja justa e considerada para todas as combinações viáveis de projetos. Na equação 2 a variável v em $\varphi[i, v]$ representa uma função que dado um jogador i calcula o resultado ou contribuição numa coalizão, ao analisar como cada jogador específico i contribui para diferentes coalizões, a função v desempenha um papel crucial, avaliando o impacto dessas coalizões na distribuição justa de ganhos, conforme determinado pelos valores de Shapley, desta forma $\varphi[i, v]$ é a contribuição do jogador i, de acordo com jogo v.

Os valores de Shapley possuem aplicações nas mais diversas áreas. Por exemplo, em determinado estudo sobre como realizar o investimento em energias renováveis na Itália, onde a estrutura produtores e consumidores foi analisada no intuito de identificar um conceito introduzido de comunidades para energias renováveis, em grupos de cidadãos, pequenas e médias empresas que geram energia, pôde-se identificar que apesar do investimento inicial tanto para produtores quanto consumidores ser o mesmo, contudo, o lucro gerado para os consumidores é maior ao longo do tempo; como consequência, o estudo sugere aplicar os valores de Shapley para que a distribuição entre o grupo de consumidores seja calculada e dividida de acordo com a contribuição marginal de cada grupo (MONCECCHI; MENEGHELLO; MERLO, 2020).

A aplicação dos valores de Shapley para a otimização de portfólio de investimento se tornou uma abordagem adotada para observar a seleção dos itens num jogo cooperativo, onde os ativos atuam na redução de risco, enquanto aumentam o retorno previsto (SHALIT, 2021). Numa comparação entre diferentes modelos da Teoria dos Jogos, e num contexto voltado a precificação de ativos, valores de Shapley se mostraram atrativos para o tema em relação a aversão ao risco (AUER; HILLER, 2021). Em outra abordagem focada para investimentos responsáveis, os valores de Shapley foram aplicados para entender o quão ambiental é determinado portfólio e desta forma selecionar os itens para composição de portfólio numa perspectiva de gestão de riscos na forma de investimentos socialmente responsáveis (MORELLI, 2023). O objetivo do valor de Shapley é o de medir a contribuição marginal de cada jogador e no contexto de portfólio a contribuição de uma ativo para o risco total, que pode ser aplicada com outras

técnicas, como por exemplo, a regressão, permitindo obter uma fronteira eficiente, combinação esta que permite extrair erros sistemáticos alternativos (SHALIT, 2020). Desta feita, a utilização de valores de Shapley combinada com outras técnicas se traduz numa abordagem factível.

Os valores de Shapley para os indicadores existentes são combinados para obter um único valor de utilidade para cada projeto. O valor combinado (u_i) é calculado como a soma dos valores de Shapley, conforme Equação 2:

$$u_i = \varphi[i, v_1] + \varphi[i, v_2] +, \dots, + \varphi[i, v_n] \quad (2)$$

Onde:

- u_i representa utilidade de um item i;
- $\varphi[i, v_n]$ é a contribuição do jogador i, de acordo com jogo v;

Após o advento das informações sobre a contribuição marginal de cada item de acordo com as coalizações estabelecidas e os valores de Shapley calculados, será apresentada a formulação do problema da mochila, que consiste na seleção de itens (n) existentes, e considerando um item (j), a capacidade da mochila (b), o valor (p) e o peso (a) do item, selecionar os itens que irão compor a mochila, sem exceder a capacidade (ARENALES, 2011) conforme Equação (3):

$$max \sum_{j=1}^{n} p_j x_j \quad (3)$$

Sujeito à:

$$\sum_{j=1}^{n} a_j x_j \leq b$$

$$x_j \in \{0,1\} \text{ para } j = 1,2, \dots, n.$$

Onde:

- n representa o número total de itens disponíveis;
- p_j corresponde ao valor associado ao item j;
- a_j representa o peso do item j;
- b é a capacidade máxima da mochila;
- x_j corresponde a uma variável binária que indica se o item j é selecionado ($x_j = 1$) ou não ($x_j = 0$);

A metodologia adotada para resolver o Problema da Mochila 0-1 nesta pesquisa envolve uma abordagem baseada em programação dinâmica, conhecida como Mochila 0-1. Esta técnica é seleciona um conjunto ótimo de projetos que irão compor o portfólio, levando em consideração pesos dos itens e a capacidade total da mochila. O processo é concebido em estágios, representados por i, onde cada estágio representa um projeto candidato a ser incluído no portfólio. A decisão binária x_i em cada estágio determina se o projeto i será incluído $(x_j = 1)$ ou não $(x_j = 0)$ na mochila. A capacidade da mochila atual representada por w é incrementada progressivamente até atingir uma condição de parada. Essa condição é estabelecida pela possibilidade de incluir todos os projetos no estágio atual i ou pela capacidade total da mochila b.

A variável w desempenha um papel crucial ao representar a capacidade atual da mochila durante o processo de decisão. Aumentando gradualmente em cada estágio, ela reflete a capacidade disponível para a inclusão dos itens. Essa abordagem considera a mochila como uma entidade dinâmica, onde cada estágio avalia a inclusão ou exclusão de um projeto, enquanto leva em conta a capacidade total até aquele ponto. A formulação matemática do Problema da Mochila 0-1, conforme descrito na Equação 4:

$$z(i,w) = \begin{cases} 0, se\ w = 0 \\ 0, se\ i = 0 \\ \max\{u_i x_i + z(i-1, w - p_i)\}, \qquad caso\ p_i \leq w \\ x_i \in \{0,1\} \end{cases} \tag{4}$$

Aqui, $z(i,w)$ denota a utilidade máxima da mochila com capacidade w, considerando os projetos até o estágio i. A variável w reflete a capacidade atual da mochila, enquanto a utilidade de um projeto específico (u_i) é ponderada pela decisão binária x_i de incluí-lo ou não, somada à utilidade máxima alcançada no estágio anterior $(i-1)$ e na capacidade reduzida $(w - p_i)$, desde que $p_i \leq w$.

Numa analogia com a questão da gestão de portifólio, os valores encontrados com o método de Shapley servem como utilidade dos projetos, que possuem custos associados para execução, e o orçamento para o portfólio corresponde à capacidade total da mochila. Existem estudos que apresentam um modelo de seleção de portfólio baseado no problema da mochila, com foco nos retornos

esperados, preços e orçamentos. Este tipo de modelo proposto foi capaz de encontrar um portfólio ótimo e de preencher a lacuna existente na teoria moderna de portfólio (VAEZI; SADJADI; MAKUI, 2019). Numa outra formulação do problema da mochila, a criação de sistema de apoio permitiu formular o problema de forma segmentada em duas instâncias, e com isso foi possível interpretar os coeficientes dos termos do objetivo como valores de Shapley (BELIAKOV, 2022). Em outra pesquisa, um sistema desenvolvido para fornecer ideias de como as decisores abordam a seleção de portfólio de projetos, optou-se pela adoção de diversas heurísticas, e o problema da mochila foi aplicado levando em consideração as dependências entre projetos (SCHIFFELS; FLIEDNER; KOLISCH, 2018).

As técnicas combinadas buscam maximizar a utilidade dos projetos, sendo essa maximização de utilidades um dos objetivos da Teoria dos Jogos através de um conceito conhecido como o jogo da barganha de Nash. A ideia é buscar um equilíbrio entre os agentes envolvidos no maior produto possível, considerando as utilidades individuais; neste estudo, porém, o que se busca é a composição do portfólio de projetos de forma a encontrar o resultado ótimo (NASH, 1950). Ainda, as decisões são tomadas de acordo com a percepção e a aversão ao risco dos indivíduos, que estão propensos às mais diversas abordagens, e desta forma considerando a utilidade de um agente qualquer como crescente, decrescente ou neutra, fica assim demonstrado o quanto diferentes funções de utilidade impactam a tomada de decisão (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). No modelo proposto, a técnica de valores de Shapley busca avaliar a contribuição marginal do projeto na composição do portfólio, buscando assim o resultado ótimo para a mochila de forma a maximizar os resultados na análise de decisão.

A abordagem do problema da mochila integrada com os valores de Shapley oferece uma perspectiva abrangente, considerando tanto as contribuições individuais quanto as limitações dinâmicas de capacidade da mochila. O resultado é um conjunto ótimo de projetos que compõem o portfólio, proporcionando uma solução eficaz para a seleção estratégica de projetos visando a utilidade dos projetos.

3.2 EXEMPLO APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL

Nesta seção, vai ser realizada uma abordagem considerando um portfólio fictício, com dados não reais, apenas para a melhor compreensão do modelo matemático aqui aplicado. No exemplo apresentado na Tabela 1, há um total de cinco projetos. Os valores de dois indicadores representados em dezenas e o valor de investimento que está na casa dos milhares; considera-se o orçamento para o ano em R$ 30.000,00 (trinta mil Reais).

Tabela 1 – Tabela de teste com projetos num portfólio

Nome do Projeto	Indicador 1	Indicador 2	Investimento
Projeto 1	30	23	8000
Projeto 2	38	20	12000
Projeto 3	12	9	4000
Projeto 4	35	21	11000
Projeto 5	25	18	7000

Fonte: O Autor (2023).

Ao primeiro passo, pode-se observar que o maior valor do indicador 1 está no projeto 2, e o menor valor está no projeto 3. No que diz respeito ao indicador 2, tem-se o projeto 1 e o projeto 3, com maior e menor valor, respectivamente. No que diz respeito aos investimentos, temos o projeto 2 com o maior valor a ser investido e o projeto 3 com o menor valor apresentado.

Vamos observar as possibilidades de composição do portfólio de acordo com os projetos no exemplo, e sem considerar a atribuição e importância de cada projeto, já que ainda não realizados os cálculos dos valores de Shapley. O intuito único e exclusivo é a compreensão de quais os possíveis resultados considerando apenas o limite orçamentário na ordem de R$ 30.000,00 (trinta mil Reais), e desta forma tem-se:

- Projetos 1, 2, e 3, com orçamento de R$ 24.000,00 (vinte e quatro mil Reais);
- Projetos 1, 2 e 5, com orçamento de R$ 27.000,00 (vinte e sete mil Reais);
- Projetos 1, 3, 4, e 5 com orçamento de R$ 30.000,00 (trinta mil Reais);

- Projetos 2, 3 e 4, com orçamento de R$ 27.000,00 (vinte e sete mil Reais);
- Projetos 2, 4 e 5, com orçamento de R$ 30.000,00 (trinta mil Reais);

Observando as combinações acima, evidencia-se que existem algumas possibilidades para o exemplo em questão, sempre respeitando o orçamento limite definido anteriormente. Iniciando os cálculos dos valores de Shapley, é necessário identificar as coalizões possíveis, representadas por ({x, y}), para este cenário de teste (Tabela 2). Como já explicado, não há coalizões contendo apenas um projeto.

Tabela 2 – Coalizões possíveis no cenário de teste do portfólio

Qtd. Jogadores	Coalizões
Dois jogadores	({1,2}, ({1,3}), ({1,4}), ({1,5}), ({2,3}), ({2,4}), ({2,5}), ({3,4}), ({3,5}), ({4,5})
Três jogadores	({1,2,3}), ({1,2,4}), ({1,2,5}), ({1,3,4}), ({1,3,5}), ({1,4,5}), ({2,3,4}), ({2,3,5}), ({2,4,5}), ({3,4,5})
Quatro jogadores	({1,2,3,4}), ({1,2,3,5}), ({1,2,4,5}), ({1,3,4,5}), ({2,3,4,5})
Cinco jogadores	({1,2,3,4,5})

Fonte: O Autor (2023).

Com as coalizões visualizadas, é possível aplicar a função valor de Shapley para calcular a contribuição marginal do projeto 1 em relação ao indicador 1. Para tal, vai-se identificar apenas as coalizões em que o Projeto 1 faz parte, e os respectivos valores destas coalizões. Sabendo-se que as coalizões de apenas um projeto não são existentes, elas são ditas nulas e possuem valor igual a zero ({1} = 0). Esses resultados podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Coalizões do projeto 1 no cenário de teste

Coalizões	$v(S)$	$v(S\backslash i))$	$(v(S) - v(S\backslash i))$
({1,2})	68	0	68
({1,3})	42	0	42
({1,4})	65	0	65
({1,5})	55	0	55

({1,2,3})	80	50	30
({1,2,4})	103	73	30
({1,2,5})	93	63	30
({1,3,4})	77	47	30
({1,3,5})	67	37	30
({1,4,5})	90	60	30
({1,2,3,4})	115	85	30
({1,2,3,5})	105	75	30
({1,2,4,5})	128	98	30
({1,3,4,5})	102	72	30
({1,2,3,4,5})	140	110	30

Fonte: O Autor (2023).

Neste momento, é possível calcular a contribuição marginal do projeto 1 em relação ao indicador 1, representado por ind_1. Como trata-se de cinco projetos, n = 5, e o valor de s irá variar de acordo com a quantidade de jogadores na coalizão. Por exemplo, a coalizão ({1,2}) possui s = 2, pois dois projetos participam da coalizão. A contribuição marginal do projeto 1 é calculada como segue:

$$\varphi[1, ind_1] = \sum_{S \in C} \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(68) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(42)$$
$$+ \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(65) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(55) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(30)$$
$$+ \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(30) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(30) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(30)$$
$$+ \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(30) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(30) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(30)$$
$$+ \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(30) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(30) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(30)$$
$$+ \frac{(5-1)!\,(5-5)!}{5!}(30)$$
$$= \sum_{S \in C} \frac{6}{120}(68) + \frac{6}{120}(42) + \frac{6}{120}(65) + \frac{6}{120}(55) + \frac{4}{120}(30)$$
$$+ \frac{4}{120}(30) + \frac{4}{120}(30) + \frac{4}{120}(30) + \frac{4}{120}(30) + \frac{6}{120}(30)$$
$$+ \frac{6}{120}(30) + \frac{6}{120}(30) + \frac{6}{120}(30) + \frac{24}{120}(30)$$
$$= \sum_{S \in C} 3{,}40 + 2{,}10 + 3{,}25 + 2{,}75 + 1{,}00 + 1{,}00 + 1{,}00 + 1{,}00 + 1{,}00$$
$$+ 1{,}00 + 1{,}50 + 1{,}50 + 1{,}50 + 1{,}50 + 6{,}00 = 29{,}50$$

O cálculo da contribuição marginal em relação ao indicador 1 para os demais projetos também pode ser realizado. Contudo, precisa-se repetir os passos e calcular os valores das coalizões restantes dos projetos 2, 3, 4 e 5. A Tabela 4 traz as informações correspondentes aos projetos 2 e 3.

Tabela 4 – Coalizões dos projetos 2 e 3 no cenário de teste

Coalizões Projeto 2	$(v(S) - v(S \backslash i))$	**Coalizões Projeto 3**	$(v(S) - v(S \backslash i))$
({2,1})	68	**({3,1})**	42
({2,3})	50	**({3,2})**	50
({2,4})	73	**({3,4})**	47
({2,5})	63	**({3,5})**	37
({2,1,3})	38	**({3,1,2})**	12
({2,1,4})	38	**({3,1,4})**	12
({2,1,5})	38	**({3,1,5})**	12
({2,3,4})	38	**({3,2,4})**	12
({2,3,5})	38	**({3,2,5})**	12

({2,4,5})	38	**({3,4,5})**	12
({2,1,3,4})	38	**({3,1,2,4})**	12
({2,1,3,5})	38	**({3,1,2,5})**	12
({2,1,4,5})	38	**({3,1,4,5})**	12
({2,3,4,5})	38	**({3,2,4,5})**	12
({2,1,3,4,5})	38	**({3,1,2,4,5})**	12

Fonte: O Autor (2023).

Com as coalizões dos projetos 2 e 3 calculadas, é necessário substituir os valores na função valor de Shapley. Para o projeto 2, usando a Equação 1, tem-se:

$$\varphi[2, ind_1] = \sum_{S \in C} \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(68) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(50) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(73) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(63) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(38) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(38) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(38) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(38) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(38) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(38) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(38) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(38) + \frac{(5-1)!\,(5-5)!}{5!}(38) = 35{,}50$$

Em seguida, será realizado o cálculo do indicador 1 para o projeto 3:

$$\varphi[3, ind_1] = \sum_{S \in C} \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(42) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(50) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(47) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(37) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(12) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(12) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(12) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(12) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(12) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(12) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(12) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(12) + \frac{(5-1)!\,(5-5)!}{5!}(12) = 16{,}00$$

A Tabela 5 apresenta as coalizões dos projetos 4 e 5.

Tabela 5 – Coalizões dos projetos 2 e 3 no cenário de teste.

Coalizões Projeto 4	$(v(S) - v(S \backslash i))$	**Coalizões Projeto 5**	$(v(S) - v(S \backslash i))$
({4,1})	65	**({5,1})**	55
({4,2})	73	**({5,2})**	63
({4,3})	47	**({5,3})**	37
({4,5})	60	**({5,4})**	60
({4,1,2})	35	**({5,1,2})**	25
({4,1,3})	35	**({5,1,3})**	25
({4,1,5})	35	**({5,1,4})**	25
({4,2,3})	35	**({5,2,3})**	25
({4,2,5})	35	**({5,2,4})**	25
({4,3,5})	35	**({5,3,4})**	25
({4,1,2,3})	35	**({5,1,2,3})**	25
({4,1,2,5})	35	**({5,1,2,4})**	25
({4,1,3,5})	35	**({5,1,3,4})**	25
({4,2,3,5})	35	**({5,2,3,4})**	25
({4,1,2,3,5})	35	**({5,1,2,3,4})**	25

Fonte: O Autor (2023).

Mais uma vez, é possível calcular a contribuição marginal em relação ao indicador 1 aplicando a função valor de Shapley para o projeto 4:

$$\varphi[4, ind_1] = \sum_{S \in C} \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(65) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(73) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(47) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(60) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(35) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(35) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(35) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(35) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(35) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(35) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(35) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(35) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(35) + \frac{(5-1)!\,(5-5)!}{5!}(35) = 33{,}25$$

Por fim, calcula-se o valor de contribuição marginal do projeto 5:

$$\varphi[5, ind_1] = \sum_{S \in C} \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(55) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(63) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(37) + \frac{(2-1)!\,(5-2)!}{5!}(60) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(25) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(25) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(25) + \frac{(3-1)!\,(5-3)!}{5!}(25) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(25) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(25) + \frac{(4-1)!\,(5-4)!}{5!}(25) + \frac{(5-1)!\,(5-5)!}{5!}(25) = 25{,}75$$

Os valores das contribuições marginais para indicador 2 representado por ind_2 seguem os mesmos passos. Desta forma, os valores encontrados podem ser visualizados para cada projeto:

$$\varphi[1, ind_2] = 2{,}15 + 1{,}60 + 2{,}20 + 2{,}05 + 0{,}77 + 0{,}77 + 0{,}77 + 0{,}77 + 0{,}77 + 0{,}77 + 1{,}15 + 1{,}15 + 1{,}15 + 1{,}15 + 4{,}60 = 21{,}80$$

Vale ressaltar que os valores representados por 0,77 estão arredondados em duas casas decimais. Na realidade, o valor consiste em uma dízima periódica em ordem de 0,766666666666667 e o arredondamento consiste em facilitar a compreensão por parte do leitor. O resultado da soma dos coeficientes considera o valor sem arredondamento.

$$\varphi[2, ind_2] = 2{,}15 + 1{,}45 + 2{,}05 + 1{,}90 + 0{,}67 + 0{,}67 + 0{,}67 + 0{,}67 + 0{,}67 + 0{,}67 + 1{,}00 + 1{,}00 + 1{,}00 + 1{,}00 + 4{,}00 = 19{,}55$$

Os valores representados por 0,67 foram arredondados para facilitar a compreensão do leitor. O valor é de fato 0,666666666666667, contudo a soma apresentada considera o valor sem arredondamento.

$$\varphi[3, ind_2] = 1{,}60 + 1{,}45 + 1{,}50 + 1{,}35 + 0{,}30 + 0{,}30 + 0{,}30 + 0{,}30 + 0{,}30 + 0{,}30 + 0{,}45 + 0{,}45 + 0{,}45 + 0{,}45 + 1{,}80 = 11{,}30$$

$$\varphi[4, ind_2] = 2{,}20 + 2{,}05 + 1{,}50 + 1{,}95 + 0{,}70 + 0{,}70 + 0{,}70 + 0{,}70 + 0{,}70 + 0{,}70 + 1{,}05 + 1{,}05 + 1{,}05 + 1{,}05 + 4{,}20 = 20{,}30$$

$$\varphi[5, ind_2] = 2{,}05 + 1{,}90 + 1{,}35 + 1{,}95 + 0{,}60 + 0{,}60 + 0{,}60 + 0{,}60 + 0{,}60 + 0{,}60 + 0{,}90 + 0{,}90 + 0{,}90 + 0{,}90 + 3{,}60 = 18{,}05$$

Em seguida, será aplicada o problema da mochila a partir dos valores de Shapley previamente calculados. Os valores de Shapley encontrados para os indicadores 1 e 2 para cada projeto foram somados como mostrado na Tabela 6, que também apresenta os valores a serem investidos em cada projeto.

Tabela 6 – Valores de Shapley e os valores a serem investidos por projeto.

Nome do Projeto	Indicador 1	Indicador 1	Soma	Investimento
Projeto 1	29,50	21,80	51,30	8000
Projeto 2	35,50	19,55	55,05	12000
Projeto 3	16,00	11,30	27,30	4000
Projeto 4	33,25	20,30	53,55	11000
Projeto 5	25,75	18,05	43,80	7000

Fonte: O Autor (2023).

A adição dos valores de Shapley dos indicadores 1 e 2 irá permitir encontrar um valor único de utilidade que seja atribuído ao respectivo projeto. Ressalta-se que não se está somando os itens, mas sim a contribuição marginal de um projeto em relação ao indicador 1 com a contribuição marginal do mesmo projeto num segundo jogo referente ao indicador 2. Desta forma, observa-se a utilidade prática do valor de Shapley para um jogador, independente se as coalizões são disjuntas, se sobrepõem de forma parcial ou são coincidentes, sendo a soma da primeira com a segunda coalizão possível considerando a possibilidade de fusão quando ambas são mutuamente valiosas (HAUSKEN 2020). Desta forma, considerando os projetos de maior valor, o projeto 2 tem o maior valor encontrado somando os dois valores de Shapley, referente à contribuição marginal em vendas bruta e líquida, seguido do projeto 4, projeto 1, projeto 5, e por fim pelo projeto 3.

Com os cálculos dos valores de Shapley e a definição das informações dos projetos sobre orçamento, pode-se prosseguir para aplicar a o problema da mochila.

Ressalta-se que, por questões de simplificação dos cálculos, os valores expressos dos investimentos que estão nas casas de milhares serão representados em suas unidades de dezenas, desta forma, onde vê-se 8, leia-se 8000 (oito mil). O cabeçalho da tabela que realiza o cálculo da mochila 0-1 pode ser descrito da seguinte forma, fornecendo uma explicação clara para cada coluna:

- $\boldsymbol{z(i,w)}$**:** A utilidade máxima da mochila na capacidade w, considerando os projetos até o estágio i.
- $\boldsymbol{max\{z(i-1,w), u_i + z(i-1,w-p_i)\}}$**:** a expressão que determina a utilidade máxima na mochila para o estágio atual, comparando a utilidade máxima sem considerar o projeto atual $(z(i-1,w))$ e a utilidade ao adicionar o projeto atual $(u_i + z(i-1,w-p_i))$;
- **0-1**: Indica que a decisão de inclusão ou exclusão de um projeto na mochila é binária, onde um representa a inclusão do projeto e zero representa a exclusão.

Essa descrição fornece uma visão abrangente dos elementos presentes no cabeçalho da tabela, incluindo a função objetivo (utilidade máxima), a comparação para decidir a inclusão ou exclusão de projetos, e a natureza binária dessa decisão. A Tabela 7 apresenta o cálculo da mochila para o projeto 1.

Tabela 7 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 1.

$\boldsymbol{z(i,w)}$	$\boldsymbol{max\{z(i-1,w), u_i + z(i-1,w-p_i)\}}$	**0-1**
$\boldsymbol{z(1,1)}$	$max\{z(0,1), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(1,2)}$	$max\{z(0,2), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(1,3)}$	$max\{z(0,3), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(1,4)}$	$max\{z(0,4), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(1,5)}$	$max\{z(0,5), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(1,6)}$	$max\{z(0,6), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(1,7)}$	$max\{z(0,7), \nexists\} = 0$	*0*
$\boldsymbol{z(1,w \geq 8)}$	$max\{z(0,8), 51{,}30 + z(0,0)\} = 51{,}30$	*1*

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 8 apresenta as informações para a escolha dos itens na mochila para o projeto 2.

Tabela 8 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 2.

$z(i,w)$	$max\{z(i-1,w), u_i + z(i-1,w-p_i)\}$	0-1
$z(2,1)$	$max\{z(1,1), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(2,2)$	$max\{z(1,2), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(2,3)$	$max\{z(1,3), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(2,4)$	$max\{z(1,4), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(2,5)$	$max\{z(1,5), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(2,6)$	$max\{z(1,6), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(2,7)$	$max\{z(1,7), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(2,8)$	$max\{z(1,8), \nexists\} = 51{,}30$	*0*
$z(2,9)$	$max\{z(1,9), \nexists\} = 51{,}30$	*0*
$z(2,10)$	$max\{z(1,10), \nexists\} = 51{,}30$	*0*
$z(2,11)$	$max\{z(1,11), \nexists\} = 51{,}30$	*0*
$z(2,12)$	$max\{z(1,12), 55{,}05 + z(1,0)\} = 55{,}05$	*1*
$z(2,13)$	$max\{z(1,13), 55{,}05 + z(1,1)\} = 55{,}05$	*1*
$z(2,14)$	$max\{z(1,14), 55{,}05 + z(1,2)\} = 55{,}05$	*1*
$z(2,15)$	$max\{z(1,15), 55{,}05 + z(1,3)\} = 55{,}05$	*1*
$z(2,16)$	$max\{z(1,16), 55{,}05 + z(1,4)\} = 55{,}05$	*1*
$z(2,17)$	$max\{z(1,17), 55{,}05 + z(1,5)\} = 55{,}05$	*1*
$z(2,18)$	$max\{z(1,18), 55{,}05 + z(1,6)\} = 55{,}05$	*1*
$z(2,19)$	$max\{z(1,19), 55{,}05 + z(1,7)\} = 55{,}05$	*1*
$z(2,w \geq 20)$	$max\{z(1,20), 55{,}05 + z(1,8)\} = 106{,}35$	*1*

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 9 apresenta os cálculos para a escolha dos itens na mochila para o projeto 3.

Tabela 9 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 3.

$z(i,w)$	$max\{z(i-1,w), u_i + z(i-1,w-p_i)\}$	0-1
$z(3,1)$	$max\{z(2,1), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(3,2)$	$max\{z(2,2), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(3,3)$	$max\{z(2,3), \nexists\}$ = 0	*0*
$z(3,4)$	$max\{z(2,4), 27{,}30 + z(2,0)\} = 27{,}30$	*1*
$z(3,5)$	$max\{z(2,5), 27{,}30 + z(2,1)\} = 27{,}30$	*1*
$z(3,6)$	$max\{z(2,6), 27{,}30 + z(2,2)\} = 27{,}30$	*1*
$z(3,7)$	$max\{z(2,7), 27{,}30 + z(2,3)\} = 27{,}30$	*1*

$\boldsymbol{z(3,8)}$	$max\{z(2{,}8), 27{,}30 + z\,(2{,}4)\} = 51{,}30$	*0*
$\boldsymbol{z(3,9)}$	$max\{z(2{,}9), 27{,}30 + z\,(2{,}5)\} = 51{,}30$	*0*
$\boldsymbol{z(3,10)}$	$max\{z(2{,}10), 27{,}30 + z\,(2{,}6)\} = 51{,}30$	*0*
$\boldsymbol{z(3,11)}$	$max\{z(2{,}11), 27{,}30 + z\,(2{,}7)\} = 51{,}30$	*0*
$\boldsymbol{z(3,12)}$	$max\{z(2,12), 27{,}30 + z(2{,}8)\} = 78{,}60$	*1*
$\boldsymbol{z(3,13)}$	$max\{z(2,13), 27{,}30 + z(2{,}9)\} = 78{,}60$	*1*
$\boldsymbol{z(3,14)}$	$max\{z(2,14), 27{,}30 + z(2{,}10)\} = 78{,}60$	*1*
$\boldsymbol{z(3,15)}$	$max\{z(2,15), 27{,}30 + z(2{,}11)\} = 78{,}60$	*1*
$\boldsymbol{z(3,16)}$	$max\{z(2,16), 27{,}30 + z(2{,}12)\} = 82{,}35$	*1*
$\boldsymbol{z(3,17)}$	$max\{z(2,17), 27{,}30 + z(2{,}13)\} = 82{,}35$	*1*
$\boldsymbol{z(3,18)}$	$max\{z(2,18), 27{,}30 + z(2{,}14)\} = 82{,}35$	*1*
$\boldsymbol{z(3,19)}$	$max\{z(2,19), 27{,}30 + z(2{,}15)\} = 82{,}35$	*1*
$\boldsymbol{z(3,20)}$	$max\{z(2,20), 27{,}30 + z(2{,}16)\} = 106{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(3,21)}$	$max\{z(2,21), 27{,}30 + z(2{,}17)\} = 106{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(3,22)}$	$max\{z(2,22), 27{,}30 + z(2{,}18)\} = 106{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(3,23)}$	$max\{z(2,23), 27{,}30 + z(2{,}19)\} = 106{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(3,w \geq 24)}$	$max\{z(2,24), 27{,}30 + z(2{,}20)\} = 133{,}65$	*1*

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 10 contém os cálculos para o projeto 4.

Tabela 10 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 4.

$\boldsymbol{z(i,w)}$	$\boldsymbol{max\{z(i-1,w), u_i + z(i-1, w - p_i)\}}$	**0-1**
$\boldsymbol{z(4,1)}$	$max\{z(3,1), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,2)}$	$max\{z(3,2), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,3)}$	$max\{z(3,3), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,4)}$	$max\{z(3,4), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,5)}$	$max\{z(3,5), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,6)}$	$max\{z(3,6), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,7)}$	$max\{z(3,7), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,8)}$	$max\{z(3,8), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,9)}$	$max\{z(3,9), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,10)}$	$max\{z(3,10), \nexists\}$ = 0	*0*
$\boldsymbol{z(4,11)}$	$max\{z(3{,}11), 53{,}55 + z\,(3{,}0)\} = 53{,}55$	*1*
$\boldsymbol{z(4,12)}$	$max\{z(3,12), 53{,}55 + z(3{,}1)\} = 78{,}60$	*0*

$\boldsymbol{z(4,13)}$	$max\{z(3,13), 53{,}55 \ + \ z(3{,}2)\} = 78{,}60$	*0*
$\boldsymbol{z(4,14)}$	$max\{z(3,14), 53{,}55 \ + \ z(3{,}3)\} = 78{,}60$	*0*
$\boldsymbol{z(4,15)}$	$max\{z(3,15), 53{,}55 \ + \ z(3{,}4)\} = 80{,}85$	*1*
$\boldsymbol{z(4,16)}$	$max\{z(3,16), 53{,}55 \ + \ z(3{,}5)\} = 82{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(4,17)}$	$max\{z(3,17), 53{,}55 \ + \ z(3{,}6)\} = 82{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(4,18)}$	$max\{z(3,18), 53{,}55 \ + \ z(3{,}7)\} = 82{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(4,19)}$	$max\{z(3,19), 53{,}55 \ + \ z(3{,}8)\} = 104{,}85$	*1*
$\boldsymbol{z(4,20)}$	$max\{z(3,20), 53{,}55 \ + \ z(3{,}9)\} = 106{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(4,21)}$	$max\{z(3,21), 53{,}55 \ + \ z(3{,}10)\} = 106{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(4,22)}$	$max\{z(3,22), 53{,}55 \ + \ z(3{,}11)\} = 106{,}35$	*0*
$\boldsymbol{z(4,23)}$	$max\{z(3,23), 53{,}55 \ + \ z(3{,}12)\} = 132{,}15$	*1*
$\boldsymbol{z(4,24)}$	$max\{z(3,24), 53{,}55 \ + \ z(3{,}13)\} = 133{,}65$	*0*
$\boldsymbol{z(4,25)}$	$max\{z(3,25), 53{,}55 \ + \ z(3{,}14)\} = 133{,}65$	*0*
$\boldsymbol{z(4,26)}$	$max\{z(3,26), 53{,}55 \ + \ z(3{,}15)\} = 133{,}65$	*0*
$\boldsymbol{z(4,27)}$	$max\{z(3,27), 53{,}55 \ + \ z(3{,}16)\} = 135{,}90$	*1*
$\boldsymbol{z(4,28)}$	$max\{z(3,28), 53{,}55 \ + \ z(3{,}17)\} = 135{,}90$	*1*
$\boldsymbol{z(4,29)}$	$max\{z(3,29), 53{,}55 \ + \ z(3{,}18)\} = 135{,}90$	*1*
$\boldsymbol{z(4,30)}$	$max\{z(3,30), 53{,}55 \ + \ z(3{,}19)\} = 135{,}90$	*1*

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 11 apresenta os cálculos referentes ao projeto 5. Como este projeto se refere ao último item, então não há a necessidade de considerar os demais estados, apenas a quantidade de itens e a capacidade da mochila, fazendo-se o cálculo a partir deste contexto.

Tabela 11 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 5.

$\boldsymbol{z(i,w)}$	$\boldsymbol{max\{z(i-1,w), u_i \ + \ z(i-1, w - p_i)\}}$	**0-1**
$\boldsymbol{z(5,30)}$	$max\{z(4,30), 43{,}80 \ + \ z(4{,}23)\} = 175{,}95$	*1*

Fonte: O Autor (2023).

Ao chegar ao final dos cálculos do último elemento, vai-se, a partir do último elemento, fazer uma recursão para definir quais itens estarão presentes na mochila. Isso simboliza que se deve inicialmente buscar pelo resultado do item 5, que demonstra que deve ser incluso na mochila, e com isso, utiliza-se a decisão da equação para retornar ao item anterior da lista e repetir até o item inicial. Em termos práticos, isso quer dizer que $z(4{,}23)$ é o item que deve ser observado anteriormente,

com a definição se deve ou não ser incluso na mochila. A referida recursão está exposta na Tabela 12, com os valores destacados na cor amarela.

Tabela 12 – Cálculo recursivo da mochila para o projeto 1.

$z(i,w)$	$max\{z(i-1,w), u_i + z(i-1, w - p_i)\}$	0-1
$z(5,30)$	$max\{z(4,30), 43{,}80 + z(4{,}23)\} = 175{,}95$	*1*
$z(4,23)$	$max\{z(3,23), 53{,}55 + z(3{,}12)\} = 132{,}15$	*1*
$z(3,12)$	$max\{z(2,12), 27{,}30 + z(2{,}8)\} = 78{,}60$	*1*
$z(2,8)$	$max\{z(1,8), \nexists\} = 51{,}30$	*0*
$z(1,8)$	$max\{z(0,8), 51{,}30 + z(0{,}0)\} = 51{,}30$	*1*

Fonte: O Autor (2023).

Analisando o caminho a ser percorrido de acordo com a Tabela 16, leva-se sempre em consideração a decisão e qual parte da equação de maximização deve ser considerada: caso o item não deva estar na mochila (0), o estado na primeira parte da função $max\{z(i-1,w), -\}$ deve ser considerado; caso contrário (1), a segunda parte deve ser considerada $\max\{-, u_i + z(i-1, w-p_i)\}$. Observando o exemplo, tem-se para escolha dos itens da mochila $z(5{,}30)$ que contém a decisão de inserir o item, retrocedendo tem-se $z(4{,}23)$, que também deve ser inserido na mochila. A partir de $z(4{,}23)$, vai-se ao item $z(2{,}8)$, e quando se chega ao item $z(2{,}8)$ o mesmo não deve ser incluso na mochila e por isso o próximo estado a ser analisado é o que compõem a primeira parte da equação de maximização, o que nos leva ao item $z(1{,}8)$, que deve estar na mochila, sendo este o primeiro elemento e o fim da recursão. Ao verificarmos a soma dos valores de Shapley, levando em considerações o orçamento e os investimentos de cada projeto, observa-se que a solução encontrada maximiza os resultados para o portfólio no exemplo apresentado, conforme descrito na Tabela 13.

Tabela 13 – Projetos que podem estar na mochila com os valores para portfólio.

Projetos	Total Investimento	Valor Utilidade do Projeto
1, 2 e 3	R$ 24.000,00	133,65
1, 2 e 5	R$ 27.000,00	150,15
1, 3, 4 e 5	R$ 30.000,00	175,95
2, 3 e 4	R$ 27.000,00	135,90
2, 4 e 5	R$ 30.000,00	152,40

Fonte: O Autor (2023).

Com a apresentação do exemplo que guiou o leitor na compreensão do funcionamento da formulação do modelo matemático proposto, modelo este também refletido no produto tecnológico.

4 PRODUTO TECNOLÓGICO

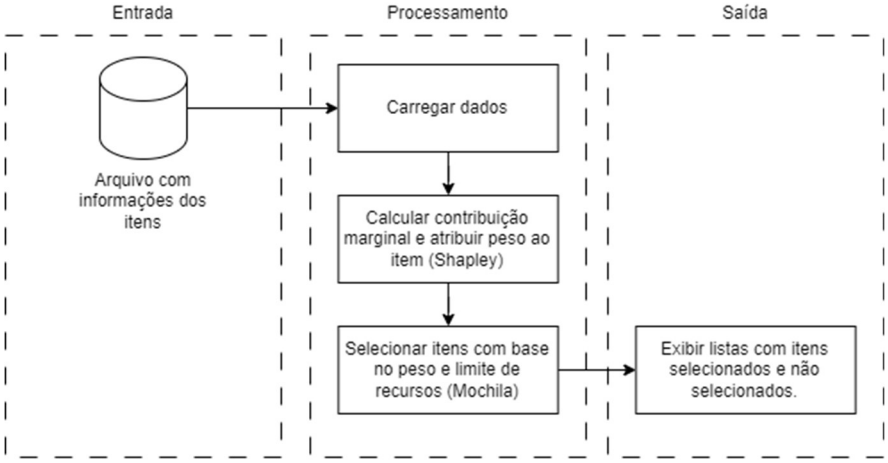
Neste capítulo é apresentado o sistema de informação de apoio a decisão que representa a automação do modelo matemático fundamentado anteriormente, o SIAD utiliza dados de entrada, descritos posteriormente, e com estes dados realiza-se o cálculo dos valores de Shapley em dois indicadores existentes. A contribuição marginal encontrada com os valores de Shapley servem como entrada, em conjunto com o orçamento que é informado pelo usuário, para aplicar o cálculo do problema da mochila, e com isso o sistema aplica e automatiza a combinação das duas técnicas, exibindo as informações de sugestões em tela sobre os itens, recomendando de acordo com os dados de entrada, quais devem ser selecionados e quais não devem ser selecionados.

O produto tecnológico visa maximizar o uso dos recursos disponíveis no processo de apoio na seleção dos itens que deverão compor o portfólio. O SIAD foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python (DEITEL; DEITEL, 2020), empregando recursos computacionais para agilizar o processo decisório, conforme preconizado por ARENALES (2011). Ao término do processo, a ferramenta apresentará uma lista ordenada, indicando quais itens devem ser selecionados e qual é a ordem de priorização recomendada.

4.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE APOIO A DECISÃO

O SIAD para a otimização de portfólio, que conta com a adoção das técnicas dos valores de Shapley associado ao problema da mochila, é uma solução de produto tecnológico para fins acadêmicos, que foi desenvolvida para ser intuitiva na seleção dos itens que irão compor o portfólio de projetos com base nos critérios específicos a um cenário do estudo de caso. A interface gráfica simplificada busca uma interação acessível ao usuário e que as funcionalidades sejam intuitivas, a Figura 4, mostra o fluxo sob o qual a ferramenta irá funcionar. O detalhamento dos componentes, das funcionalidades, e as tecnologias envolvidas para o desenvolvimento do SAID podem ser observados no Apêndice A, que é parte integrante desta dissertação.

Figura 4 – Fluxo de funcionamento do SIAD



Fonte: O Autor (2023).

O arquivo com as informações sobre os itens para o portfólio deve seguir o modelo proposto, que possui restrições como duas variáveis para encontrar a utilidade do projeto, bem como deve ser mantida a ordem em que as informações estão dispostas tendo em vista que o produto tecnológico está parametrizado para aceitar apenas o formato de entrada previsto no modelo. O Quadro 1 contém as informações, o tipo de dados, e um descritivo do modelo para entrada dos dados, lembrando que todos os campos são obrigatórios.

Quadro 1 – Definição do modelo de entrada de dados no SIAD

Título do Campo	**Descrição**	**Tipo de Dado**
Projeto Nome	Descrição do nome projeto para identificação.	Categórico Nominal
Tipo de Produto	Descrição do tipo de produto ou classificação de um produto.	Categórico Nominal
Indicador 1	Valor do primeiro indicador.	Numérico Quantitativo Continuo com duas casas decimais
Indicador 2	Valor do segundo indicador.	Numérico Quantitativo Continuo com duas casas decimais
Orçamento	Valor gasto para execução do projeto.	Numérico Quantitativo Continuo com duas casas decimais

Fonte: Empresa Construção Nordeste (2023).

Apesar de oferecer diversas funcionalidades para facilitar o uso, bem como assegurar uma experiência fluída, as duas funcionalidades principais assumem destaque, e as Equações 1, 2, 3 e 4 realizam a formulação matemática existente, contudo as Figuras 5, 6, 7 e 8 refletem os algoritmos que foram adotados para a utilização de ambas as técnicas.

Figura 5 - Algoritmo do problema da mochila

Função para resolver o problema da mochila com base nos valores de Shapley

```
function SOLVEKNAPSACK(data, shapley_values, budget)
    num_projects = len(data)
    budget = int(budget)
    knapsack = [[0] * (budget + 1) for _ in range(num_projects + 1)]
    for i in range(1, num_projects + 1) do
        for w in range(budget + 1) do
            if data.loc[i - 1, 'investment'] ≤ w then
                knapsack[i][w] = max(knapsack[i - 1][w], shapley_values[i - 1] + knapsack[i - 1][w - data.loc[i - 1, 'investment']])
            else
                knapsack[i][w] = knapsack[i - 1][w]
            end if
        end for
    end for
    w = budget
    selected_projects = []
    for i in range(num_projects, 0, -1) do
        if knapsack[i][w] ≠ knapsack[i - 1][w] then
            selected_projects.append(i - 1)
            w -= data.loc[i - 1, 'investment']
        end if
    end for
    return selected_projects[::-1]
end function
```

Fonte: O Autor (2023).

A Figura 5 se refere ao problema da mochila que possui o intuito de otimizar a seleção de projetos utilizando como base os valores de Shapley como critério de valor e o orçamento informado de cada projeto como o peso do item. Esta função recebe três parâmetros $SolveKnapack(data, shapley_values, budget)$: o primeiro parâmetro consiste em uma estrutura de dados ($data$) que possui as informações dos projetos de acordo com o dicionário de dados apresentado na seção 3.1; o segundo parâmetro são os valores de Shapley ($shapley_values$), já calculados para todos os projetos existentes no arquivo de dados carregado no SIAD; o terceiro e último parâmetro desta função é o valor do orçamento ($budget$) que foi inserido pelo usuário, e compreende o valor total que pode ser aplicado com o portfólio de projetos.

Observe que há a conversão do valor do orçamento para um número inteiro, na linha $budget = int(budget)$ e em seguida a matriz $knapsack$ é criada como uma estrutura de dados que armazena soluções parciais para o problema da mochila, onde as linhas indicam os itens considerados e as colunas as capacidades.

Considerando um item i e uma capacidade w a célula (i, w) contém o valor máximo obtido neste estado. Existem duas estruturas de laço duplo "*for*" que percorrem as possíveis combinações de itens e o respectivo peso, havendo a comparação do item atual com o existente na matriz. Como resultado, ao percorrer todos os itens e pesos, a matriz $knapsack$ é preenchida com os valores máximos possíveis para cada subproblema. Após o preenchimento da matriz, há um processo de reconstrução para identificar os itens que otimizam a alocação dos recursos, e começando da última célula da matriz $(num_project, budget)$, a função verifica se a inclusão do item na posição foi responsável por um aumento do valor total em relação à célula anterior $(i - 1, w)$. Em caso positivo, o projeto é incluído na lista e a capacidade da mochila é ajustada, sendo o processo repetido recursivamente e de forma retroativa até que a primeira linha da matriz seja alcançada, considerando os valores de Shapley e as restrições do orçamento. Por fim, a função retorna os projetos selecionados, $return\ selected_projets$.

A Figura 6 descreve o algoritmo para calcular as coalizões definidas pela função $CalculateCoalitionValue(column_data,\ coalition)$ que recebe dados de uma coluna e um conjunto de índices representando uma coalizão para determinado jogador. Como a coalizão é representada por dois ou mais jogadores, a função retorna o valor zero para o jogador sozinho, e o valor da coalizão para dois ou mais jogadores.

Figura 6 - Algoritmo cálculo dos valores de uma coalizão

Função para calcular o valor da contribuição de uma coalizão para uma coluna específica

```
1: function CALCULATECOALITIONVALUE(column_data, coalition)
2:     if len(coalition) == 1 then
3:         return 0
4:     end if
5:     return column_data[list(coalition)].sum()
6: end function
```

Fonte: O Autor (2023).

Em seguida, o algoritmo da Figura 7 possui uma função $CalculateShapleyValuesForColumn(columun_data)$ que segue os princípios da função valor de Shapley. Esta função recebe uma série de dados de uma coluna e itera sobre cada jogador, em seguida faz a chamada da função da Figura 14 para calcular as coalizões. Nesta mesma função temos o cálculo da contribuição marginal de cada jogador utilizando a biblioteca $math$ para operações fatoriais e a $itertools$

para manipulação dos dados, retornando ao final os valores de Shapley, calculados para cada jogador de uma coluna específica.

Figura 7 - Algoritmo de cálculo dos valores de Shapley por coluna

Função para calcular os valores de Shapley para uma coluna específica

```
function CALCULATESHAPLEYVALUESFORCOLUMN(column_data)
    num_projects = len(column_data)
    shapley_values_column = [0] * num_projects
    for player in range(num_projects) do
        for coalition_size in range(1, num_projects + 1) do
            coalitions = [set(comb) for comb in combinations(range(num_projects), coalition_size) if player in comb]
            for coalition in coalitions do
                coalition_value = calculateCoalitionValue(column_data, coalition)
                numerator = math.factorial(len(coalition) − 1) × math.factorial(num_projects − len(coalition))
                denominator = math.factorial(num_projects)
                coalition_difference = coalition_value − calculateCoalitionValue(column_data, coalition − {player})
                marginal_contribution = numerator/denominator × coalition_difference
                shapley_values_column[player] += marginal_contribution
            end for
        end for
    end for
    shapley_values_column = [round(float(value), 2) for value in shapley_values_column]
    return shapley_values_column
end function
```

Fonte: O Autor (2023).

A Figura 8 exibe o algoritmo da função para cálculo das coalizões que recebe um parâmetro $CalculateCoalitionValue(project_info, coalition)$ com informação dos projetos. Essa função combina os valores de Shapley de cada coluna dos indicadores, onde os valores de Shapley são calculados, e combina ambos para que cada jogador tenha um valor único associado.

Figura 8 - Algoritmo de combinação dos valores de Shapley

Função para calcular os valores de Shapley combinados para todas as colunas

```
function CALCULATESHAPLEYVALUES(project_info)
    shapley_values = [0] * len(project_info)
    for column_name in ['shapley_1', 'shapley_2'] do
        column_data = project_info[column_name]
        shapley_values_column = calculateShapleyValuesForColumn(column_data)
        shapley_values = [a + b for a, b in zip(shapley_values, shapley_values_column)]
    end for
    return shapley_values
end function
```

Fonte: O Autor (2023).

O SIAD de seleção de portfólio com valores de Shapley e o problema da mochila, se constitui de uma ferramenta para o apoio no processo decisório, levando em consideração a automação do modelo matemático proposto no capítulo 3, e limitado aos dados de entrada que devem ser carregados no sistema.

5 ESTUDO DE CASO

No referido estudo de caso, os dados que foram coletados pertencem a uma indústria da construção civil, localizada no Nordeste do país, que por questões de confidencialidade, terá o nome preservado, sendo aqui denominada apenas como Empresa Construção Nordeste. Caracterizando a Empresa Construção Nordeste, esta possui mais de trinta anos na região, com produtos que são do tipo residencial e empresarial. Nos produtos, existem diferentes tipos de precificação relacionadas a tipologia do projeto, acabamento, localização e área privativa; desta forma, a terminologia utilizada será referente ao valor de venda do produto com quatro opções possíveis. Diferentemente do que descreve a Empresa Construção Nordeste, não haverá a separação dos tipos residenciais e empresariais para este estudo, sendo utilizado aqui apenas os intervalos de preço de venda.

5.1 COLETA, TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

As demais informações repassadas são referentes à análise financeira da empresa, e neste caso, o tratamento dos dados teve a realização do arredondamento de valores, com todos sendo apresentados na ordem de milhões de reais; por exemplo, onde existir R$ 1,0, leia-se um milhão de reais. No que diz respeito ao nome dos projetos, também foram realizadas alterações, para que não haja a identificação dos respectivos projetos. Desta forma, os projetos aparecem como Projeto n, onde $n\ (1 \leq n \leq 40)$ é um número inteiro. Por exemplo, Projeto 1 correspondente ao primeiro projeto existente na base de dados. Todas essas alterações foram condicionantes para que a Empresa Construção Nordeste fornecesse os dados e o Quadro 1 apresenta os dados disponibilizados.

Quadro 2 – Dicionário de dados com tipologia e descrição

Título do Campo	Descrição	Tipo de Dado
Projeto Nome	Identificação dos projetos que contém o nome Projeto seguido de um número único sendo de 1 até 40.	Categórico Nominal
Tipo de Produto	Uma classificação em relação ao valor de venda da unidade imobiliária com quatro opções distintas: • Acima de 500 mil • De 350 mil a 500 mil	Categórico Nominal

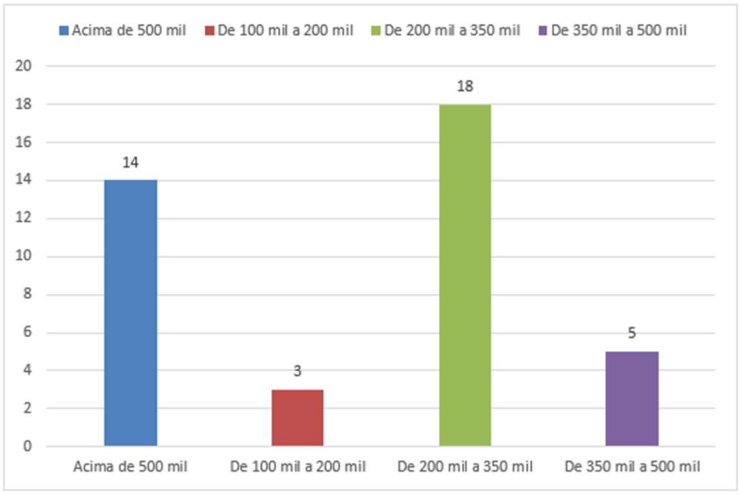
	• De 200 mil a 350 mil • De 100 mil a 200 mil Onde a expressão mil refere-se a uma abreviação para milhares.	
VGVB	Valor Geral de Vendas Bruta (VGVB) representados em milhões de Reais.	Numérico Quantitativo Continuo com duas casas decimais
VGVL	Valor Geral de Vendas Líquida (VGVL) representados em milhões de Reais.	Numérico Quantitativo Continuo com duas casas decimais
Custo Obra	Custos que envolvem o projeto e a construção do empreendimento, bem como aspectos técnicos e legais.	Numérico Quantitativo Continuo com duas casas decimais

Fonte: Empresa Construção Nordeste (2023).

Dentre as terminologias apontadas no Quadro 1, é importante considerar que VGVB refere-se a um valor totalitário considerando a venda das unidades habitacionais de determinado projeto, sendo considerado o valor da unidade e o número de unidades a serem comercializadas. No caso do VGBL, está-se falando do valor líquido, ou seja, é o resultado do VGVB subtraído os custos com aquisição de terreno, custas legais do direito à propriedade, impostos, e outros pertinentes. Ainda se destaca que custo da obra envolve os custos diretos e indiretos relacionados a construção do projeto em si (LIMA JUNIOR; MONETTI; DE ALENCAR, 2011).

É importante ressaltar que os dados foram enviados pela Empresa Construção Nordeste em Agosto de 2023 por meios eletrônicos e são referentes à composição do portfólio da empresa referente aos anos de 2016, 2017, 2018 e 2019. A base de dados disponibilizada possui o registro de quarenta projetos considerados para compor o portfólio ao total dos quatro anos informados e que dos quais trinta e dois foram selecionados durante o período citado na composição do portfólio da empresa e oito não compuseram o referido portfólio nos anos descritos anteriormente. A Figura 9 apresenta a quantidade de projetos de acordo com cada tipo, de acordo com o valor de venda da unidade. O processo de seleção e priorização, bem como o detalhamento da composição do portfólio, será prontamente descrito na seção 5.2.

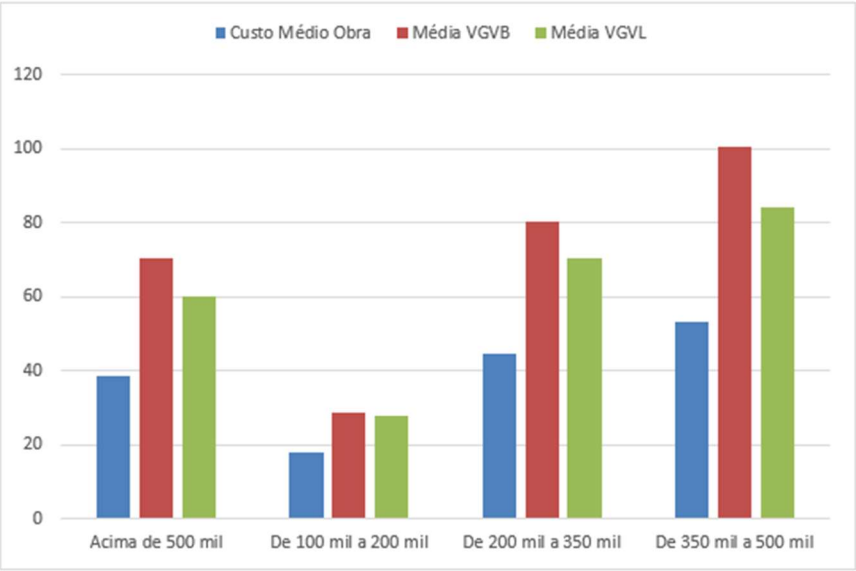
Figura 9 – Quantidade de tipo de produto na base de dados.



Fonte: O Autor (2023).

Na Figura 9, constata-se que a maior quantidade de projetos, 18, pertence à faixa de 200 mil a 350 mil, e a menor quantidade, com três projetos, na faixa de 100 mil a 200 mil. No que diz respeito ao maior valor médio, considerando todos os projetos de acordo com o valor unitário, o VGVB é da ordem de R$ 101.540.000,00 (cento e um milhões quinhentos e quarenta mil Reais), o VGVL na ordem de R$ 84.300.000,00 (oitenta e quatro milhões e trezentos mil Reais), e o custo de obra é de R$ 53.110.000,00 (cinquenta e três milhões e cento de dez mil Reais). Note que em todos os casos, os maiores valores médios se deram para os empreendimentos na faixa de 350 mil a 500 mil. A Figura 10 apresenta os valores médios de acordo com tipo de produto.

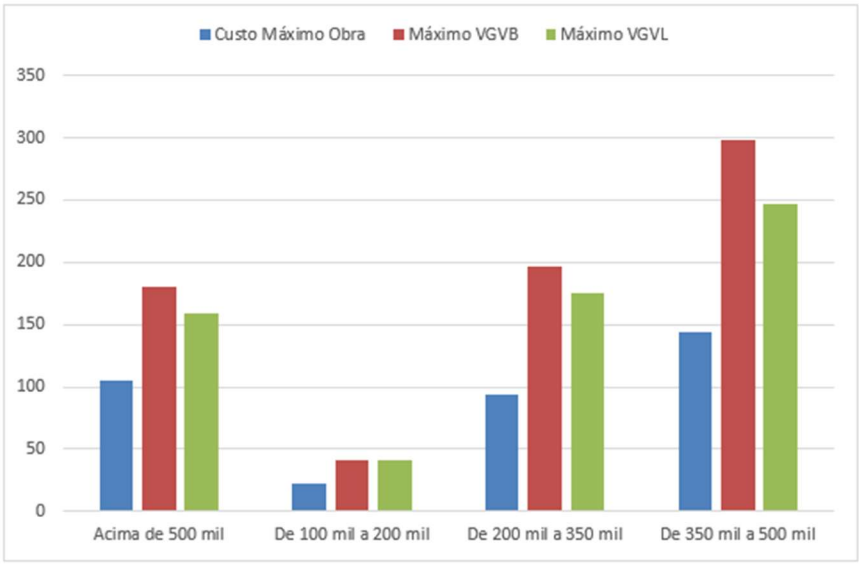
Figura 10 – Valor médio de VGVB, VGVL e custo da obra dos projetos



Fonte: O Autor (2023).

Os maiores valores encontrados para VGVB, VGVL, e custo de obra foram observados em produtos na faixa entre 350 mil a 500 mil, e observando quais são os valores máximos considerando um único projeto encontramos para o VGVB valor aproximado de R$ 298.000.000,00 (duzentos e noventa e oito milhões de Reais), para o VGVL o valor encontrado é um pouco mais de R$ 247.000.000,00 (duzentos e quarenta e sete milhões de Reais), e no quesito custo da obra o valor é na ordem de R$ 144.120.000,00 (cento e quarenta e quatro milhões e cento e vinte mil Reais). A Figura 11 apresenta os valores máximos considerando apenas um projeto para cada tipo para VGVB, VGVL, e custo de obra.

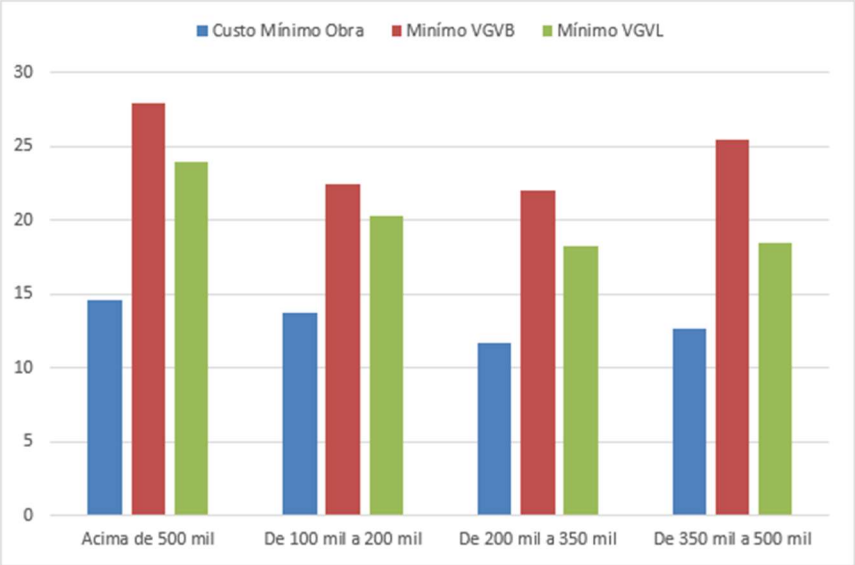
Figura 11 – Maior valor do VGVB, VGBL, e custo da obra por único projeto por tipo.



Fonte: O Autor (2023).

Vamos observar os valores mínimos para um único projeto, ou seja, qual o menor valor de VGVB para um único projeto de acordo com o tipo – faixa de preço – e encontramos o VGVB de R$ 22.000.000,00 (vinte e dois milhões de Reais), em projetos na faixa de 200 mil a 350 mil. Na análise do VGVL, o valor mínimo encontrado é pouco mais de R$ 18.000.000,00 (dezoito milhões de Reais) para projetos na mesma faixa de 200 mil a 350 mil. No quesito custo da obra, foi encontrado o valor de R$ 11.680.000,00 (onze milhões e seiscentos e oitenta mil Reais) para um projeto na faixa de 200 mil a 350 mil. A Figura 12 apresenta as informações referente aos valores mínimos para um projeto de cada tipo.

Figura 12 – Menor valor do VGVB, VGVL, e custo de obra para um projeto por tipo.



Fonte: O Autor (2023).

Observando os dados, as informações referentes ao VGVB e VGVL serão utilizadas para o cálculo dos valores de Shapley, enquanto o custo da obra servirá para a aplicação do problema da mochila. A análise será limitada a um orçamento de cada ano para execução dos projetos. O que de acordo com a Empresa Construção Nordeste, isto se refere ao ciclo de vida do projeto ao longo dos três a cinco anos de execução, que foram parâmetros de execução informados.

5.2 DO PROCESSO DE SELEÇÃO ATUAL

De acordo com a Empresa Construção Nordeste, todos os quarenta projetos listados passaram por uma análise de viabilidade prévia que definiu que seriam benéficos e possíveis de serem desenvolvidos com base em questões legais e técnicas, e promovendo o retorno esperado dos recursos a serem aplicados. Com essa etapa vencida, os projetos ingressam numa lista para o portfólio, onde destes são selecionados para serem parte do portfólio de determinado ano, que coincide com o ano de lançamento do projeto para o mercado. São utilizadas as informações de venda bruta e liquida e o custo do empreendimento, bem como aspectos de tipologia, a descrição do empreendimento, a região, e um estudo de inteligência de mercado. Este estudo estará limitado aos valores de venda bruta e líquida e custo da obra. Não caberá a análise do estudo de inteligência de mercado, pois esse se refere a pontos distintos para cada projeto, e considera aspectos macroeconômicos

e microeconômicos, além disso, não houve o compartilhamento destes dados por parte da empresa por considerar conteúdo sensível. Ao se olhar para publicações referente ao tema, observa-se que existe atenção dada às condições locais, incluindo a forma de fazer negócios, normas culturais e leis existentes sendo fatores que moldam e são moldados pelo desenvolvimento imobiliário, e estes elementos podem ser vistos como elementos estruturais, mas também como limitadores (BOANADA-FUCHS; BOANADA FUCHS, 2022).

As informações obtidas com a empresa revelam que existe uma reunião anual que define quais projetos devem compor o portfólio da empresa no ano seguinte. A reunião é de responsabilidade de uma comissão interna que é composta por diretores e membros da equipe de novos negócios, sendo assim definida de acordo com os critérios financeiros que possam manter a empresa na condição de realizar novos negócios, que posicionem a marca positivamente perante o mercado, e que permita um crescimento sustentável. Ter recursos é importante devido ao tipo de projeto de alto valor de investimento e olhando para a competição das empresas do mercado imobiliário, há uma relação direta da condição financeira da empresa, sendo fatores determinantes para o desenvolvimento dos negócios, contudo os projetos diferem na localização, desenho, tempo e preço dos produtos ofertados (FAN; LEUNG; YANG, 2022).

Um aspecto que é considerado pela comissão através do estudo de inteligência de mercado é o respeito aos ciclos econômicos, pois estes impactam diretamente a cadeia produtiva e diretamente o setor da Indústria da Construção Civil. Contudo, as escolhas dos projetos realizadas já consideram esse aspecto intrinsecamente de acordo com a Empresa Construção Nordeste. Esse olhar é importante para o planejamento, pois em estudo de caso preliminar no Reino Unido, possibilitou ajustes e negociações em projetos de urbanização e com isso houve uma adaptação aos ciclos do mercado imobiliário, demonstrando assim a possibilidade de redução de custos, o que limitou a capacidade de contestação pelas comunidades (ROBIN, 2022). Sabe-se que o desenvolvimento de determinada região é influenciado por investimentos, que requerem retorno aos investidores, conforme pode ser visto em um estudo na região da África. Pôde-se, por exemplo, evidenciar que a aquisição de terras é o principal fator no desenvolvimento econômico, permitindo a aquisição por meio de leilão, negociação a premiação, sendo a negociação preferido pelos desenvolvedores do mercado imobiliário pois

permite a inovação e a seleção de um local específico (MENGISTU; VAN DIJK, 2018).

Em continuidade a descrição do processo de decisão para a composição de portfólio, a empresa destaca que é feito com os critérios já informados e a opinião dos especialistas presentes na reunião. Não existe nenhuma outra ferramenta além das análises apresentadas para o processo, e com a quantidade grande de informações, existe um amplo debate até que haja consenso entre os participantes. E neste momento, pode-se afirmar que a proposta de uma solução matemática para encontrar a solução ideal para que o decisor aceite ou retifique a estratégia num contexto em que há critério de parada e a captura de contextos do mercado é fator preponderante para o sucesso da abordagem (ABDELAZIZ; MALLEK, 2018).

Em média, a Construção Nordeste afirma possuir entre seis e dez projetos para considerar na composição do portfólio. A seleção dos projetos que não são escolhidos em um determinado ano para compor o portfólio em anos subsequentes é resultado das opções disponíveis, das condições de mercado e da decisão da comissão interna. A Tabela 14 apresenta a quantidade de projetos escolhidos a cada ano. É relevante observar que, em 2015, a empresa escolheu os oito projetos disponíveis naquele momento, deixando de selecionar dois deles. Dessa forma, na análise realizada a partir de 2016, não será necessário identificar esses projetos, pois está claro que estão presentes na lista fornecida pela empresa.

Tabela 14 – Quantidade de projetos selecionados por ano

Ano	Disponíveis	Selecionados	Não selecionados
2016	8 + 2 = 10	7	3
2017	11 + 3 = 14	9	5
2018	9 + 5 = 14	11	3
2019	10 + 3 = 13	5	8
Total	**40**	**32**	**8**

Fonte: O Autor (2023).

É importante destacar que a leitura da Tabela 14 apresenta na coluna um valor inicial para os projetos que ingressaram na lista naquele ano mais os projetos que não foram selecionados no período anterior. O total de projetos disponíveis é representado por uma adição (ingressantes do ano + não selecionados = total para

seleção no ano). Ao final, tem-se a seleção de 32 (trinta e dois) projetos, sendo 8 (oito) deles não selecionados até o ano de 2018. Na Tabela 15, observa-se a divisão dos projetos selecionados por tipo de produto.

Tabela 15 – Quantidade de empreendimentos selecionados por tipo de produto.

Tipo de Produto	2016	2017	2018	2019
Acima de 500 mil	4	5	4	0
De 100 mil a 200 mil	0	1	0	0
De 200 mil a 350 mil	2	3	5	4
De 350 mil a 500 mil	1	0	2	1
Total	**7**	**9**	**11**	**5**

Fonte: O Autor (2023).

A empresa ainda informou que os orçamentos disponíveis para cada ano possuem uma margem de ajustes para mais com valores não superiores a 2,5% (cinco por cento) do valor total previsto para aquele ano, levando em consideração o total de custos de obra para os empreendimentos selecionados em cada ano, os valores dos orçamentos previstos, bem como os valores destinados de acordo com os projetos selecionados (Tabela 16). De acordo com a Construtora Nordeste, essa variação é possível por análises no processo fiscal e tributário da empresa, e por vezes, o regime de tributação de acordo com a legislação permite a margem de acréscimo prevista.

Tabela 16 – Custo total de obra para os projetos selecionados de cada ano.

Ano	Previsto em R$	Destinado em R$	Limite 2,5% R$
2016	155.000.000,00	155.846.000,00	158.875.000,00
2017	372.000.000,00	373.248.595,00	381.300.000,00
2018	465.000.000,00	476.494.000,00	476.625.000,00
2019	432.500.000,00	441.350.000,00	443.312.500,00
Total	**1.424.500.000,00**	**1.446.938.595,00**	**1.460.112.500,00**

Fonte: O Autor (2023).

Observa-se que o ano de 2018 apresenta o maior valor do custo, sabendo-se que neste ano foram selecionados onze projetos, e que o ano de 2016, com o total de sete projetos selecionados, apresenta o menor valor investido considerando os anos analisados. No ano que apresenta o maior custo, tem-se uma quantidade

maior de projetos do tipo identificado como “De 200 mil a 350 mil”, com um total de cinco dos onze selecionados, e no ano de 2016, com o menor custo apresentado, os projetos do tipo “Acima de 500 mil” em um total de quatro estão mais presentes.

A Tabela 17 apresenta quais os projetos foram selecionados a cada ano, sem o termo projeto para a identificação, apenas o número. Pode ser constatado que os projetos de números 3, 7 e 8 não foram contemplados para compor o portfólio em 2016, sendo que o projeto 8 não fora selecionado desde 2016 até o último ano analisado. Em 2017, além do projeto 8, não foram inclusos os projetos 12, 14, 15, e 18, sendo que o projeto 15 não foi escolhido para compor o portfólio em 2017, 2018 e em 2019. Nos anos de 2018 e 2019, o projeto 24 não foi selecionado, e no ano de 2019 os projetos 32, 33, 35, 38, e 40 não compuseram a lista de projetos escolhidos. Considerando a análise dos anos de 2016 a 2019, os projetos 8, 15, 24, 32, 33, 35, 38 e 40 ainda não haviam sido selecionados para compor o portfólio da empresa.

Tabela 17 – Projetos selecionados a cada ano pela comissão de avaliação.

Ano	Números dos projetos selecionados
2016	1, 2, 4, 5, 6, 9 e 10
2017	3, 7, 11, 12, 16, 17, 19, 20, e 21
2018	12, 14, 18, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, e 30
2019	31, 34, 36, 37, e 39

Fonte: O Autor (2023).

O ciclo de vida de execução de um projeto compreende um intervalo que varia de três a cinco anos, desta forma, a seleção e priorização se tornam importantes, pois a alocação de recursos, que são finitos, estará comprometida por um período de médio a longo prazo. Assim, a saúde financeira e consequentemente a distribuição de emprego e renda estão atreladas a estes fatores, sendo importante a assertividade para tal composição do portfólio. Projetos comerciais (escritórios e hotéis) de longo prazo possuem dificuldades em relação a regulamentação e dificultam a mensuração do valor. Da mesma forma, há dificuldades nos empreendimentos habitacionais; sendo pior na fase operacional que permite a obtenção de receita seja na venda ou aluguel do valor investido. Conclui-se então que a mensuração de valor é elemento importante para alocação de capital, e no mercado imobiliário a transferência de propriedade significa fator importante para

estimativas das medidas de valor e requer indicadores específicos para tal fim (KOWALSKI; KAZAK, 2020).

5.3 APLICANDO OS DADOS NO SIAD

Nesta seção, vai-se realizar a aplicação do SIAD nos dados, contudo, precisa-se observar que serão quatro bases, uma para cada ano, ou seja, 2016, 2017, 2018 e 2019. Com isso, o processo será repetido quatro vezes para que possa ser realizada a análise das escolhas feitas pela comissão, e as escolhas feitas pelo SIAD e as respectivas diferenças e impactos. No que diz respeito ao ambiente de execução, descreve-se que a ferramenta de apoio a decisão foi executada em um computador de mesa, que possui o sistema operacional Windows 11, e é descrito contendo 32GB de memória RAM, HD SSD de 120GB M2 Sata, processador Intel i5-8400 2.8 GHz, e placa de vídeo dedicada Nvidia RTX 3060 de 12 GB de memória.

Tem-se então quatro bases, cada um referente aos respectivos anos da análise, a saber 2016, 2017, 2018 e 2019, a quantidade de projetos por cada ano, bem como os tempos computacionais de execução de cada base em segundos. As bases apresentam valores numéricos com duas casas decimais que representam as ordens de milhões de Reais, e por isso, o valor dos orçamentos de cada ano também foram convertidos para a mesma representação, mantendo assim a consistência entre os indicadores utilizados para cálculo dos valores de Shapley. Tudo isso e o orçamento previsto para cada ano está presente na Tabela 18.

Tabela 18 – Custo total de obra para os projetos selecionados de cada ano.

Ano	Previsto em milhões R$	Destinado em milhões R$	Limite 2,5% em milhões R$
2016	155,00	155,85	158,88
2017	372,00	373,25	381,30
2018	465,00	476,49	476,63
2019	432,50	441,35	443,31
Total	**1.424,50**	**1.446,94**	**1.460,12**

Fonte: O Autor (2023).

No que concerne aos tempos registrados, foi adicionado uma função de tempo no código fonte da ferramenta de apoio a decisão, e essa adição foi realizada

na função de otimização, que faz a chamada tanto dos valores de Shapley e do problema da mochila, e ao término a função demonstra no ambiente de desenvolvimento os resultados encontrados. Salienta-se que os tempos de execução não estão visíveis ao executar a ferramenta diretamente, sem o acesso ao código fonte do produto tecnológico.

As bases são arquivos no formato .csv e possuem a nomenclatura “base_projetos_ano.csv”, onde a palavra “ano”, no nome do arquivo, é substituída pelos respectivos anos correspondentes, por exemplo: para o ano de 2016, o nome do arquivo é “base_projetos_2016.csv”. Durante a execução, não houve interrupções ou erros na ferramenta de apoio a decisão, bem como o sistema se manteve estável, e os resultados foram coletados e exportados para arquivos .csv com o padrão de nomenclatura “resultado_projetos_ano_X.csv”, onde da mesma maneira, a palavra “ano” é substituída pelo correspondente, e o X se refere ao tipo de orçamento podendo ser substituída por: P para orçamento previsto, D para o orçamento destinado, e L para o orçamento com o acréscimo do limite de 2,5% sobre o previsto.

A Tabela 19 exibe os tempos registrados, para cada base, que estão separados por cada tipo de orçamento: o previsto (P), o orçamento destinado (D) para aquele ano, e o limite (L) previsto no acréscimo considerado tolerável pela empresa. Em todas as coletas de tempo, a ferramenta foi fechada, e em seguida executada novamente para evitar algum possível acúmulo de memória referente a uma execução anterior.

Tabela 19 – Tempos registrados na execução de cada base de dados por orçamento.

Base Executada Ano	Número Projetos	P (s)	D (s)	L (s)
2016	10	7s 345ms	7s 455ms	7s 383ms
2017	14	167s 118ms	168s 444ms	167s 890ms
2018	14	167s 555ms	169s 400ms	170s 18ms
2019	13	78s 662ms	78s 566ms	80s 130ms

Fonte: O Autor (2023).

Observando os tempos registrados na Tabela 19, evidencia-se pouca variação entre os tempos na variação do orçamento para o mesmo ano, mas quando a comparação é feita de um ano para o outro, existem diferenças e essa variação é

devida, pois os valores de Shapley usam as combinações dos projetos para encontrar as coalizões, o que requer o consumo de recursos computacionais.

As bases de entrada e saída, bem como a ferramenta de apoio a decisão que realiza o SIAD por meio de recursos computacionais estão disponíveis no hiperlink: PPGEP-Lima-Silva-Shapley_Knapsack. Na seção 6, analisam-se os resultados encontrados em detrimento daqueles feitos por especialistas no estudo de caso, e as devidas observações e fatos relevantes à análise.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o advento da execução das bases de dados e a coleta de resultados, é importante comparar e analisar as escolhas realizadas pelos especialistas com aquelas realizadas pelo SIAD com o uso da ferramenta computacional. É importante que as observações possam trazer à tona o debate de maximização dos recursos, contudo, o foco é nos resultados apresentados pelo SIAD. No entanto, não cabe neste momento substituir as decisões já tomadas nos períodos abordados e nem a mudança do processo que existe na atualidade, mas evidenciar o quão importante é uma ferramenta de apoio a decisão no contexto do estudo de caso apresentado.

É importante descrever que a análise será realizada em diversas etapas distintas. A primeira delas será comparar os projetos selecionados pelo comitê com aqueles referentes aos especialistas, em seguida haverá a comparação de todos os resultados encontrados pela ferramenta de apoio nos três tipos de orçamentos referenciados anteriormente. A seguir, a análise será sobre o impacto sofrido nos indicadores de VGVB e VGVL na seleção de projetos realizado pela ferramenta e qual a diferença quando comparada à seleção pelos especialistas, seguida pela análise por tipo de produto na mesma visão do processo realizado por especialistas em relação à ferramenta. Contempla-se ainda uma análise considerando variação do orçamento limite com acréscimo máximo previsto pela companhia.

Ressalta-se que o SIAD, através da ferramenta de apoio a decisão, está sempre tratando a análise a partir da visão da escolha dos especialistas, tendo uma subseção neste capítulo que isola este fato e simula decisões acatadas incondicionalmente pela ferramenta, com o intuito de criar um cenário onde a ferramenta sobrescreve as escolhas dos especialistas e apresenta resultados onde não há a repetição de escolhas de projetos, fato que ocorre quando aplicamos a ferramenta com base nos itens que haviam disponíveis para o comitê de decisão. Após realizar as análises, um panorama geral da contribuição da ferramenta de apoio ao processo decisório e as implicações no processo estará disponível, sendo possível avaliar as implicações e robustez da combinação de duas técnicas amparadas por recursos computacionais.

6.1 PROJETOS SELECIONADOS NO ORÇAMENTO DESTINADO

Ao primeiro momento, a comparação a ser realizada é a quantidade de projetos selecionados pelos especialistas e a quantidade de projetos selecionados pelo SIAD; isso implica na dimensão do quão o mesmo orçamento pode ser aplicado de maneira diferente, e com isso pode-se observar quais os impactos encontrados para o processo de maximização nos valores de vendas brutos e líquidos da empresa em questão. A Tabela 20 exibe os projetos que foram selecionados pelos especialistas e aqueles selecionados pelo SIAD, aplicando a ferramenta e utilizando o orçamento destinado.

Tabela 20 – Projetos selecionados por especialistas e pelo SIAD

Base Executada Ano	Especialistas		SIAD	
	Selecionados	Não selecionados	Selecionados	Não selecionados
2016	1, 2, 4, 5, 6, 9 e 10	3, 7 e 8	1, 2, 5, 6, 7, 9, e 10	3, 4 e 8
2017	3, 7, 11, 13, 16, 17, 19, 20, e 21	8, 12, 14, 15, e 18	3, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, e 21	8, 17 e 18
2018	12, 14, 18, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, e 30	8, 15, e 24	12, 14, 18, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, e 30	8, 15, e 26
2019	31, 34, 36, 37 e 39	8, 15, 24, 32, 33, 35, 38, e 40	8, 15, 24, 34, 36, 37, e 39	31, 32, 33, 35, 38, e 40

Fonte: O Autor (2023).

Observa-se que no ano de 2016 houve apenas uma mudança entre os projetos selecionados por especialistas e aqueles sugeridos pelo SIAD, mas a quantidade de projetos selecionados por ambos permanece inalterada. Para o ano de 2017, as diferenças foram maiores quando comparadas ao ano anterior: os especialistas sugeriram a seleção de nove projetos, enquanto a SIAD sugeriu a seleção de onze projetos, ou seja, dois a mais que os especialistas, sendo que dois dos projetos não selecionados pelos especialistas também não foram selecionados pelo SIAD. No ano de 2018, tem-se a mesma quantidade de projetos selecionados e

não selecionados por especialistas e pelo SIAD, contudo, a diferença está que um projeto foi selecionado pelo SIAD, mas não pelos especialistas. No caso do ano de 2019, existem dois projetos a mais selecionados, com diferenças entre os projetos selecionados e não selecionados na visão dos especialistas em comparação com as escolhas feita pelo SIAD. A Figura 13 traz uma matriz de confusão para verificar quais projetos foram escolhidos pela opinião dos especialistas e quais foram escolhidos pelo SIAD.

Figura 13 – Matriz de confusão projetos selecionados por especialistas e SIAD

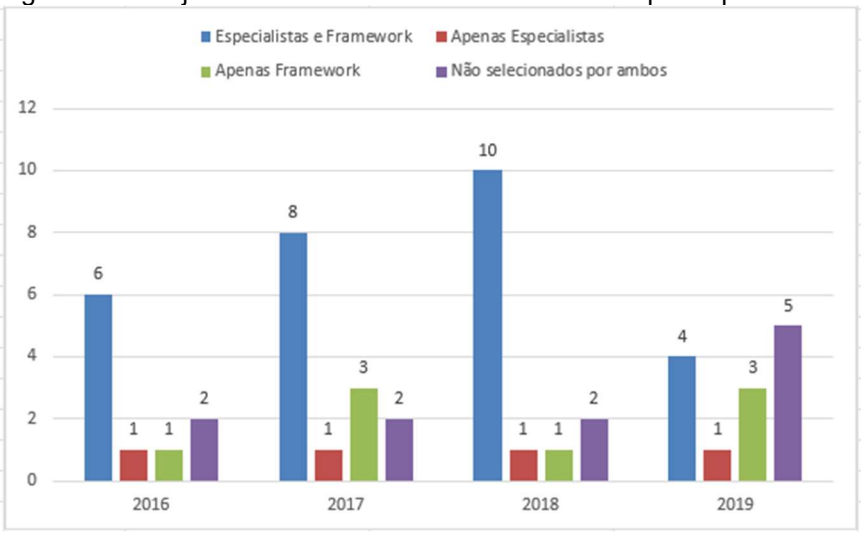
		Framework	
		Selecionados	Não selecionados
Especialistas	Selecionados	28	4
	Não selecionados	8	11

Fonte: O Autor (2023).

Considerando todos os projetos de todos os anos, observa-se que vinte e oito projetos foram selecionados tanto pelos especialistas como também pelo SIAD, isto demonstra que apesar da ferramenta de apoio não ser um modelo de previsão, a ferramenta consegue estar alinhada com os projetos que buscam trazer maximização no uso dos recursos, já que está visão também fora compartilhada pelo grupo de especialistas membros do comitê de decisão. Visualiza-se também que existem oito projetos selecionados pelo SIAD que não foram selecionados pelos especialistas e que para ambos, onze projetos não foram escolhidos ao longo do prazo estipulado.

Atenta-se que se está considerando todos os anos, e desta forma, um mesmo projeto que não foi selecionado em um ano, pode ter sido selecionado em outro. A matriz de confusão da Figura 13 ilustra a visão geral do resultado quando comparado ao portfólio dos anos do estudo de caso em ambas as formas, contudo o processo está segregado aos anos observados e por isso é importante a análise deles também de forma separada. Sendo assim, a Figura 14 incorre na exibição das seleções separadas por cada ano.

Figura 14 – Projetos selecionados e não selecionados por especialistas e SIAD.



Fonte: O Autor (2023).

Nos anos de 2017 e 2019, observam-se as maiores diferenças em termos absolutos entre a seleção realizada por especialistas e a efetuada pela ferramenta de apoio. Essa disparidade é ainda mais significativa quando consideramos que, em 2017, dos nove projetos escolhidos, o SIAD optou por três que não foram selecionados pelos especialistas, totalizando 33% da amostra dos projetos escolhidos. No caso de 2019, entre os cinco projetos escolhidos pelos especialistas, a ferramenta selecionou três diferentes, resultando em uma divergência de 60% na amostra dos projetos escolhidos para compor o portfólio. Já o ano de 2018 é caracterizado por uma perspectiva na qual dez dos onze projetos escolhidos para aquele ano foram incluídos por ambas as abordagens, com um projeto escolhido exclusivamente pelos especialistas e outro escolhido exclusivamente pelo SIAD. No mesmo ano, há dois projetos que não foram selecionados por ambas as partes, mas a quantidade de seleções comuns é a mesma.

Em 2017, os resultados mostram que o SIAD selecionou um número maior de projetos do que os especialistas, num total de onze, em contrapartida aos nove selecionados pelos especialistas no mesmo período; o mesmo ocorreu no ano de 2019, com o acréscimo de dois projetos em ambos os períodos por parte do SIAD. No ano de 2019, existiam treze projetos disponíveis, dos quais cinco foram selecionados pelos especialistas, ou seja, aproximadamente 39% do total foi selecionado, e com isso, a variação existente entre especialistas parece ser factível pela grande quantidade de projetos não selecionados que fazem parte da base para este ano. No caso de 2017, dos quatorze projetos disponíveis para o ano, nove

foram selecionados, ou seja, aproximadamente 64% do total de projetos, contudo o SIAD fez uma seleção diferente, considerando projetos que não foram inclusos pelos especialistas e realizando a exclusão de outros.

Quando se olha para os dados dos projetos do ano de 2017, o VGVB total dos projetos selecionados pelos especialistas é na ordem de R$ 722.510.000,00 (setecentos e vinte dois milhões e quinhentos e dez mil Reais), com uma média de R$ 80.280.000,00 (oitenta milhões e duzentos e oitenta mil Reais) por cada projeto. Para o VGVL do mesmo ano, o valor foi da ordem de R$ 596.350.000,00 (quinhentos e noventa e seis milhões e trezentos e cinquenta mil Reais), com média por projeto no valor de R$ 66.260.000,00 (sessenta e seis milhões e duzentos e sessenta mil Reais). Ainda, o custo total de obra foi de R$ 373.240.000,00 (trezentos e setenta e três milhões e duzentos e quarenta mil Reais), com média de R$ 41.470.000,00 (quarenta e um milhões e quatrocentos e setenta mil Reais) para cada projeto.

Se nos voltarmos para as escolhas feitas pelo SIAD, para o mesmo ano, no mesmo tipo de orçamento, encontra-se que o VGVB total é de R$ 723.240.00,00 (setecentos e vinte e três milhões e duzentos e quarenta mil Reais), com média de R$ 65.750.000,00 (sessenta e cinco milhões e setecentos e cinquenta mil Reais) por projeto, com um VGVL líquido de R$ 596.570.000,00 (quinhentos e noventa e seis milhões e quinhentos e setenta mil Reais), apresentando média de R$ 54.230.000,00 (cinquenta e quatro milhões e duzentos e trinta mil Reais) por projeto. Em relação ao custo total de obra, este foi observado em R$ 367.590.000,00 (trezentos e sessenta e sete milhões quinhentos e noventa mil Reais), com média por obra na ordem de R$ 33.420.000,00 (trinta e três milhões quatrocentos e vinte mil Reais).

Na perspectiva das diferenças das escolhas do SIAD e da opinião dos especialistas, tem-se um aumento de R$ 730.000,00 (setecentos e trinta mil Reais) no VGVB, e um ganho de R$ 220.000,00 (duzentos e vinte mil Reais) no VGVL, contabilizando também uma redução no custo de obra de R$ 5.650.000,00 (cinco milhões e seiscentos e cinquenta mil Reais). Os ganhos apresentados tanto no VGVB e VGVL representam um bom indicador de otimização da ferramenta e consequentemente para a composição do portfólio. Ainda, para este ano, a redução dos custos de obra demonstra ainda mais a importância de uma ferramenta de apoio a decisão que utiliza de técnicas da Pesquisa Operacional. A seção 4.3 discorrerá

em uma análise sobre essas variações considerando os indicadores VGVB e VGVL para cada ano, e o custo de obra também. Por agora é importante destacar os resultados do ano de 2017 como um bom indicador dos resultados encontrados.

6.2 DOS VARIAÇÕES EM RELAÇÃO AO TIPO DE ORÇAMENTO

Conforme descrito anteriormente no capítulo 3, a ferramenta fez o uso dos três orçamentos possíveis para o estudo de caso: o orçamento previsto, que é definido como a meta para o comitê de decisão; o orçamento destinado, que consiste no orçamento que foi definido após as escolhas dos projetos pelos especialistas; e outro orçamento denominado limite, já que com base no orçamento previsto pode ser considerado um acréscimo de 2,5% no portfólio de cada ano. A seguir, vai-se comparar as diferenças na seleção dos projetos levando em consideração os orçamentos denominados como previsto, destinado, e com o limite de acréscimo em cada ano.

Tabela 21 – Projetos selecionados pelo SIAD de acordo com o orçamento.

Base Executada Ano	**Orçamentos**		
	Previsto	**Destinado**	**Limite**
2016	1, 2, 5, 6, 7, 9, e 10	1, 2, 5, 6, 7, 9, e 10	1, 2, 5, 6, 7, 9, e 10
2017	3, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20 e 21	3, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20 e 21	3, 7, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, e 21
2018	12, 15, 18, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, e 30	12, 14, 18, 22, 23 24, 25, 27, 28, 29, e 30	12, 14, 18, 22, 23 24, 25, 27, 28, 29, e 30
2019	15, 33, 34, 36, 37, 39, e 40	8, 15, 24, 34, 36, 37, e 39	15, 24, 34, 36, 37, 38, e 39

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 21 apresenta as variações encontradas pelo SIAD quando os três tipos de orçamentos foram utilizados; ao observar o ano de 2016 no orçamento previsto, não há diferença na quantidade de projetos selecionados, bem como os projetos selecionados são os mesmos. O ano de 2017 segue a mesma tendência, quando se compara os orçamentos previstos e destinados; contudo, no orçamento limite, apesar da quantidade de projetos ser a mesma, existem variações em relação

aos demais – em que três projetos foram escolhidos neste tipo de orçamento, mas não estão entre os selecionados pelos outros tipos de orçamento. Em 2018, a quantidade de projetos selecionados é o mesmo para os três tipos de orçamentos, contudo, o orçamento previsto possui diferença de ter selecionado um projeto diferente dos demais. Já no ano de 2019, a quantidade de projetos selecionadas é a mesma para todos os orçamentos, contudo existem diferenças de quais projetos foram selecionados em todos eles.

Sabe-se que o orçamento destinado foi utilizado para as comparações entre as escolhas dos projetos feitos por especialistas e pela ferramenta de apoio na subseção 4.1, e a mesma abordagem será replicada para os orçamentos previsto e o limite na comparação com a opinião dos especialistas. É importante destacar que o orçamento dos especialistas é sempre o destinado, refletindo as escolhas na época, e não existindo variações. A Tabela 22 possui a primeira abordagem entre os projetos selecionados e não selecionados na comparação da opinião dos especialistas no orçamento destinado com o SIAD utilizando o orçamento previsto.

Tabela 22 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD orçamento previsto.

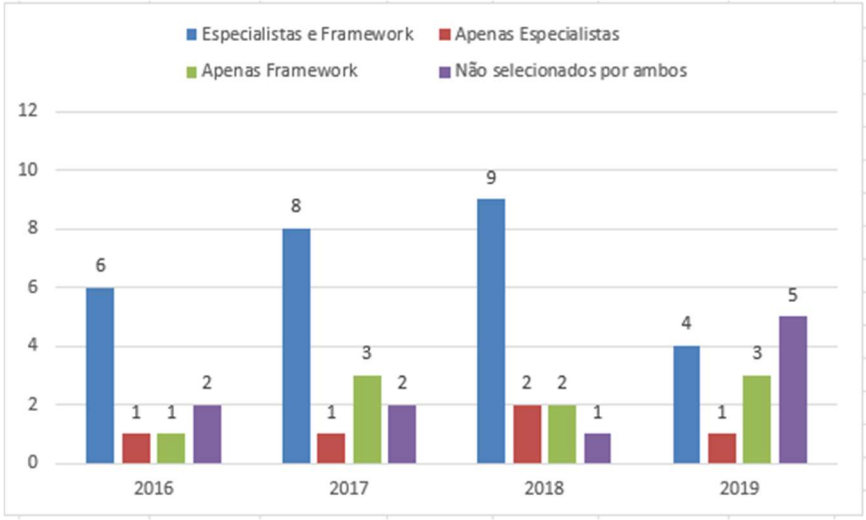
Base Executada Ano	Especialistas		SIAD	
	Selecionados	Não selecionados	Selecionados	Não selecionados
2016	1, 2, 4, 5, 6, 9 e 10	3, 7 e 8	1, 2, 5, 6, 7, 9, e 10	3, 4 e 8
2017	3, 7, 11, 13, 16, 17, 19, 20, e 21	8, 12, 14, 15, e 18	3, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, e 21	8, 18 e 19
2018	12, 14, 18, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, e 30	8, 15, e 24	12, 15, 18, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, e 30	8, 14, e 26
2019	31, 34, 36, 37 e 39	8, 15, 24, 32, 33, 35, 38, e 40	15, 33, 34, 36, 37, 39, 40	8, 24, 31, 32, 35 e 38

Fonte: O Autor (2023).

O ano de 2016 demonstra que não há diferença na quantidade de projetos selecionados, e um dos projetos foi escolhido pelo especialista e não pelo SIAD, assim como o inverso é recíproco. No ano de 2017, tem-se um acréscimo de dois

projetos a mais selecionado pelo SIAD na comparação com especialistas, bem como existem diferenças: os projetos 12, 14, e 15 foram selecionados pelo SIAD, mas não pelos especialistas. Em 2018, a quantidade de itens escolhidos por ambas as partes é a mesma, havendo apenas diferença entre dois projetos que foram escolhidos por exclusivamente uma das partes. Por fim, no ano de 2019, tem-se quantidades e projetos diferentes na escolha do SIAD quando comparada aos de especialistas. Nesta comparação, observa-se que tanto o SIAD quanto os especialistas não optaram pelo projeto de número 8, em nenhum dos anos apresentados. A Figura 15 mostra os projetos selecionados por cada uma das partes, apenas por especialistas, apenas pelo SIAD, e por nenhum deles.

Figura 15 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD orçamento previsto.



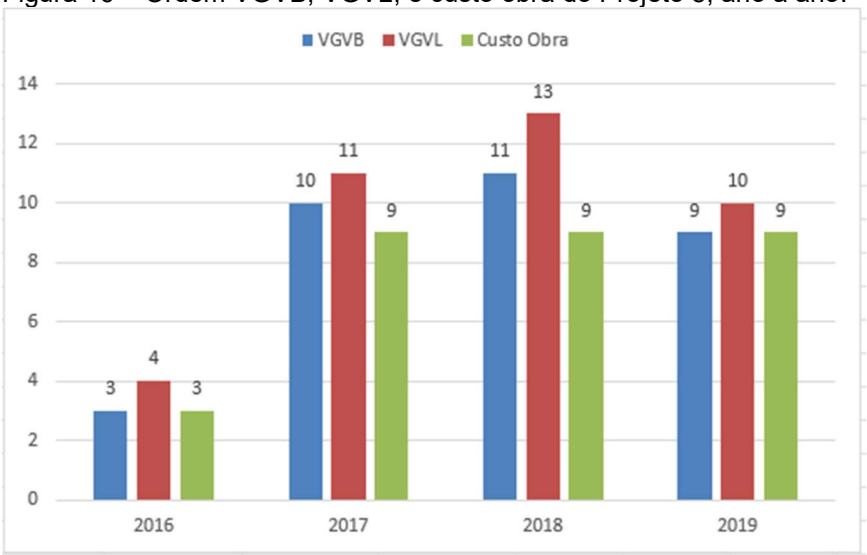
Fonte: O Autor (2023).

No que diz respeito ao projeto 8, que não foi selecionado em nenhum dos anos, quando comparado o orçamento previsto com o orçamento destinado, tem-se que o referido projeto possui um VGVB de R$ 36.530.000,00 (trinta e seis milhões e quinhentos e trinta mil Reais), e um VGVL de R$ 32.000.000,00 (trinta e dois milhões de Reais), com um custo de obra associado na ordem de R$ 26.130.000,00 (vinte e seis milhões e cento e trinta mil Reais). Há ao todo quarenta projetos a serem escolhidos, e quando se observa as características deste projeto, este se posiciona no VGVB de ordem 26ª do maior para o menor, e VGVL na ordem 31ª decrescente, bem como apresenta custo de obra na posição 16ª na ordem crescente. Como consequência, este pode ser considerado numa visão geral como

sendo um projeto que não está entre os melhores itens para maximizar o investimento.

Ao se avaliar as projeções ano a ano, pode-se constatar que o projeto 8 em relação aos demais (Figura 16) apresenta no ano de 2016 o terceiro lugar em termos de VGVB, sendo também a terceira obra mais cara e com o VGVL em quarto. Em 2017, o referido projeto apresenta VGVB em décima posição, com VGVL em décima primeira posição e custo de obra em nona posição. O ano de 2018 é marcado por esse projeto sendo o décimo primeiro em VGVB, décimo terceiro no líquido e nono em custo de obra, e por fim no ano de 2019 temos a nona posição para VGVB e para o custo de obra, enquanto o VGVL líquido ocupa a décima posição. Analisando que o VGVB e VGVL são melhores quando melhor classificados na ordem crescente, e que o custo da obra quanto maior pior para a classificação do projeto, a sucessão de posições não favoráveis, bem como os limites orçamentários devem ser os responsáveis pela exclusão deste projeto no portfólio.

Figura 16 – Ordem VGVB, VGVL, e custo obra do Projeto 8, ano a ano.



Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 23 traz o comparativo de quais projetos foram selecionados pelos especialistas com o orçamento destinado e aqueles selecionados pelo SIAD quando o orçamento denominado limite foi utilizado. Para os anos de 2016 e 2018, a quantidade de projetos selecionados, tanto por especialistas quanto pelo SIAD, é a mesma; em 2018 houve um projeto a mais selecionado pelo SIAD quando comparado com as escolhas dos especialistas, e no ano de 2019, tem-se dois projetos a mais selecionados pelo SIAD quando comparado por especialistas. Da

mesma forma que ocorrido anteriormente, o projeto 8 não foi selecionado em nenhum dos anos abordados para este orçamento definido como limite.

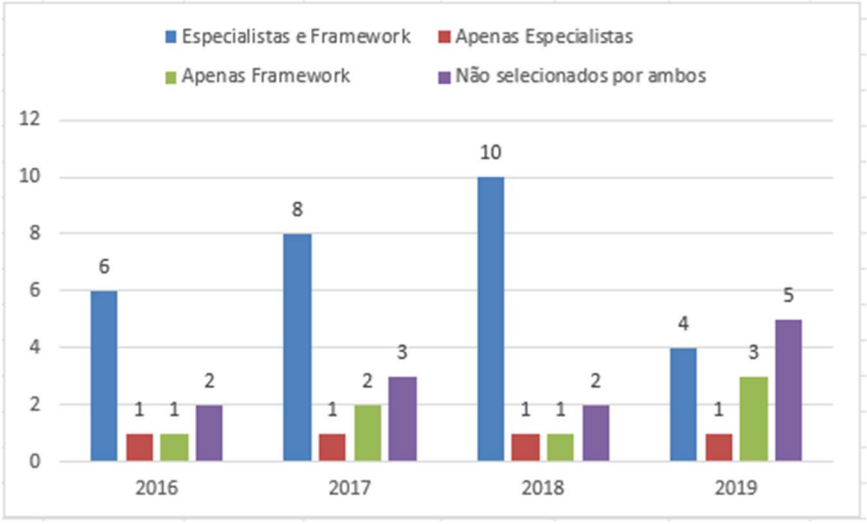
Tabela 23 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD orçamento limite.

Base Executada Ano	Especialistas		SIAD	
	Selecionados	Não selecionados	Selecionados	Não selecionados
2016	1, 2, 4, 5, 6, 9 e 10	3, 7 e 8	1, 2, 5, 6, 7, 9, e 10	3, 4 e 8
2017	3, 7, 11, 13, 16, 17, 19, 20, e 21	8, 12, 14, 15, e 18	3, 7, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, e 21	8, 11, 14 e 18
2018	12, 14, 18, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, e 30	8, 15, e 24	12, 14, 18, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, e 30	8, 15, e 26
2019	31, 34, 36, 37 e 39	8, 15, 24, 32, 33, 35, 38, e 40	15, 24, 34, 36, 37, 38, e 39	8, 31, 32, 33, 35, e 40

Fonte: O Autor (2023).

A Figura 17 mostra os projetos que foram selecionados tanto por especialistas como pela ferramenta de apoio a decisão, sendo seis, oito, dez e quatro para os anos de 2016, 2017, 2018 e 2019, respectivamente.

Figura 17 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD pelo orçamento limite.



Fonte: O Autor (2023).

Observando ainda a Figura 17 nos anos de 2016 e 2018, houve um projeto para cada parte selecionados de forma exclusiva, e no ano de 2019, o SIAD escolheu três projetos distintos daqueles selecionados pelos especialistas, sendo este ano com a maior diferença, comparando escolhas exclusivas. Já no ano de 2017, dois projetos foram escolhidos pelo SIAD de forma exclusiva, o que difere na opinião dos especialistas por apenas um projeto.

A comparação dos orçamentos previsto e limite promoveu a possibilidade de visualizar o quanto dessas variações podem impactar a inclusão ou exclusão de itens na composição de portfólio do caso em estudo. Destaca-se projetos que: (i) quando o orçamento destinado foram aplicados para ambos, o comitê de decisão e a ferramenta de apoio tiveram diferentes inclusões; e que (ii) quando os orçamentos previsto e limite foram usados apenas na perspectiva da ferramenta, já que não existem essas informações por parte dos especialistas, também trouxeram diferenças e similaridades, destacando-se entre elas: a quantidade maior de projetos selecionados em alguns anos; projeto que seguiu a tendência da opinião de especialistas e não foi selecionado, bem como quantidades maiores selecionadas pelo SIAD, quando comparado com as escolhas dos especialistas.

6.3 DA PERSPECTIVA DOS INDICADORES FINANCEIROS

Nesta seção, serão analisadas as escolhas do SIAD, utilizando os três orçamentos mencionados anteriormente em comparação com as escolhas dos especialistas. Desta forma, o VGVB e VGVL serão analisados em cada um dos anos objeto deste estudo, bem como o custo da obra. Um outro conceito que será introduzido aqui será o de retorno sobre investimentos, ou do inglês *return over investment,* abreviado como ROI, que visa identificar o percentual de retorno sobre determinado valor investido na forma de expressar o desempenho financeiro de determinado investimento (BRIGHAM, 2010). Neste estudo de caso, VGVB e VGVL são os valores de retorno a receber, e o custo da obra quantia a ser investida. O ROI é determinado pela Equação 5:

$$ROI = \frac{valor\ recebido - valor\ investido}{valor\ investido} \times 100 \qquad (5)$$

Inicia-se pela análise do resultado considerando todos os projetos selecionados por especialistas e todos aqueles selecionados pela ferramenta em comparação com os três orçamentos, previsto, destinado e limite. Reiterando que o orçamento destinado foi o utilizado pelos especialistas, e os outros três pela ferramenta. Compete inicialmente a análise do VGVB e ao se verificar a ano de 2016, identifica-se que os orçamentos previsto, destinado e limite possuem um valor melhor quando comparado ao dos especialistas na seleção dos projetos; o mesmo ocorre nos anos de 2017, 2018 e 2019, mas apenas para os orçamentos destinado e limite. No caso do orçamento previsto, este apresenta valores menores para o VGVB quando comparados com as escolhas dos decisores, o que se deve ao fato do orçamento ser menor do que o realmente utilizado conforme pode-se identificar na Tabela 24.

Tabela 24 – VGVB total dos projetos selecionados ano a ano em milhões de Reais.

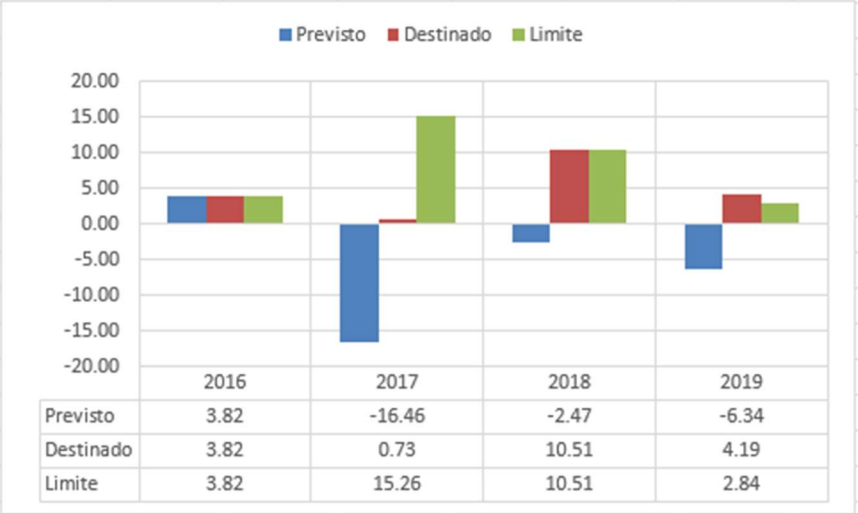
Base Executada Ano	Especialistas	Previsto	Destinado	Limite 2,5%
2016	262,48	266,30	266,30	266,30
2017	722,51	706,05	723,24	737,77
2018	819,84	817,37	830,35	830,35
2019	868,39	862,05	872,58	871,23

Fonte: O Autor (2023).

A Figura 18 descreve os resultados quando se compara os ganhos ou perdas em termos de VGVG para todos os anos em relação aos projetos selecionados pelo grupo de especialistas. Sabe-se que a ferramenta de apoio a decisão faz as sugestões com base nos projetos que estavam disponíveis para cada ano, e quando se compara as variações do VGVB de cada orçamento do SIAD sempre com as escolhas dos especialistas, encontra-se na maioria dos casos resultados positivos para o orçamento previsto. Isso, por exemplo, ocorre no ano de 2016, mas se torna negativo nos demais anos. Contudo, o orçamento é menor do que quando comparado com a dos especialistas. Nota-se que para o ano de 2016, há um aumento de R$ 3.820.000,00 (três milhões oitocentos e vinte mil Reais) em todos os tipos de orçamento quando comparados com especialistas; ainda, que o maior aumento está para o ano de 2017, no orçamento limite em R$ 15.260.000,00 (quinze

milhões duzentos e sessenta mil Reais) e que para o orçamento destinado, o mesmo utilizado na perspectiva dos especialistas, a ferramenta conseguiu ganhos: sendo o menor deles em 2017, com R$ 730.000,00 (setecentos e trinta mil Reais) e o maior deles em 2018, com R$ 10.510.000,00 (dez milhões e quinhentos e dez mil Reais).

Figura 18 – Variação do VGVB comparado com seleção dos especialistas.



	2016	2017	2018	2019
Previsto	3.82	-16.46	-2.47	-6.34
Destinado	3.82	0.73	10.51	4.19
Limite	3.82	15.26	10.51	2.84

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 25 remete a análise do VGVL quando se compara os três tipos de orçamentos com a opinião dos especialistas. Há a presença de ganhos nos três tipos de orçamentos no ano de 2016 e 2017. Nos anos de 2018 e 2019, o orçamento previsto não supera os resultados da opinião do especialista, acreditando-se que o impacto é devido, pois o orçamento previsto é menor do que aquele de acordo com a seleção de projetos feitas por especialistas.

Os valores do VGVL para o orçamento destinado possuem bons resultados e demonstram como a ferramenta otimizou o cenário, com exceção apenas para o ano de 2019, onde o VGVL dos especialistas para o período é da ordem de R$ 760.030.000,00 (setecentos e sessenta milhões, trinta mil Reais) em contrapartida aos R$ 757.280.000,00 (setecentos e cinquenta e sete milhões e duzentos e oitenta mil Reais). Como para o cálculo dos valores de Shapley, soma-se o VGVB com o VGVL, o valor somado com os resultados do SIAD apresenta ganhos quando comparados em relação às escolhas dos especialistas.

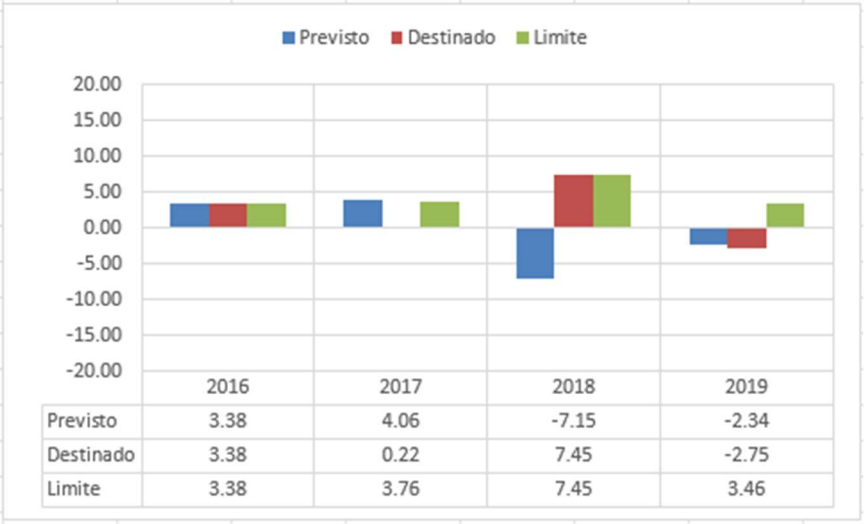
Tabela 25 – VGVL total dos projetos selecionados ano a ano em milhões de Reais.

Base Executada Ano	Especialistas	Previsto	Destinado	Limite 2,5%
2016	228,15	231,53	231,53	231,53
2017	596,35	600,41	596,57	600,11
2018	715,58	708,43	723,03	723,03
2019	760,03	757,69	757,28	763,49

Fonte: O Autor (2023).

A Figura 19 mostra os resultados quando se comparam os ganhos ou perdas em termos de VGVL para todos os anos. Como pode ser visto, o ano de 2016 apresenta ganhos em todos os tipos de orçamentos e o ano de 2018 apresenta os maiores ganhos para os orçamentos destinado e limite, mas também as maiores perdas de valores para o orçamento previsto.

Figura 19 – Variação do VGVL comparado com seleção dos especialistas.



	2016	2017	2018	2019
Previsto	3.38	4.06	-7.15	-2.34
Destinado	3.38	0.22	7.45	-2.75
Limite	3.38	3.76	7.45	3.46

Fonte: O Autor (2023).

Apesar de constituir apenas uma situação de resultado, já que os valores de Shapley são calculados com base nos dois indicadores financeiros, os custos de obra também tiveram impactos relevantes no ponto de vista da análise. Ao se olhar para o custo de obra na Tabela 26, nota-se que em 2016 os projetos selecionados por especialistas possuem custos maiores do que as sugestões da ferramenta. Conforme observado, apenas no ano de 2017, o orçamento limite com R$ 376.350.000,00 (trezentos e setenta e seis milhões e trezentos e cinquenta mil

Reais) superou o orçamento de R$ 373.240.000,00 (trezentos e setenta e três milhões e duzentos e quarenta mil Reais).

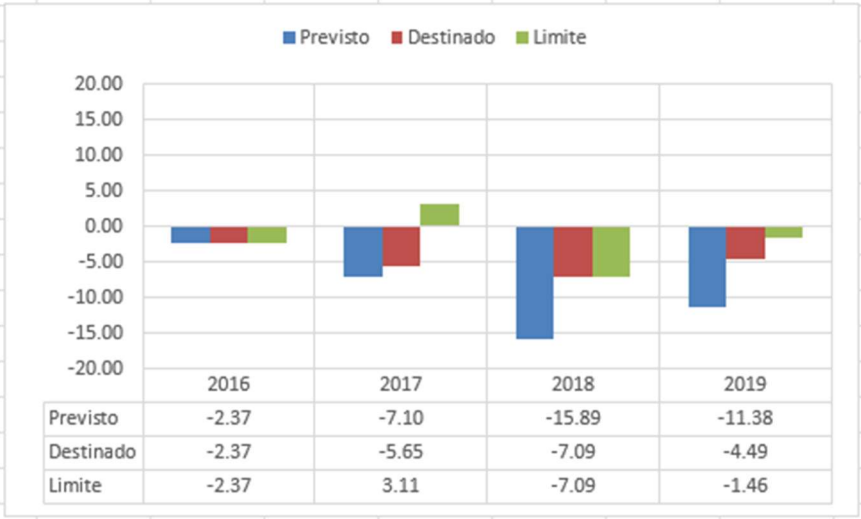
Tabela 26 – Custo de obra total dos projetos selecionados ano a ano em milhões de Reais.

Base Executada Ano	Especialistas	Previsto	Destinado	Limite 2,5%
2016	155,84	153,47	153,47	153,47
2017	373,24	366,14	367,59	376,35
2018	476,50	460,61	469,41	469,41
2019	441,35	429,97	436,86	439,89

Fonte: O Autor (2023).

O custo de obra apresenta redução em todos os anos descritos, exceto no orçamento do tipo limite em 2017. As maiores reduções estão presentes no orçamento previsto nos anos de 2018 e 2019, e a menor delas no orçamento limite em 2019, o que pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 – Variação do custo de obra comparado com seleção dos especialistas.



Fonte: O Autor (2023).

Com as observações referente ao VGVB, VGVL e custo de obra, é hora de realizar a aplicação do ROI no VGVB e VGVL e analisar quais os resultados encontrados, sempre com o objetivo de comparar a seleção dos projetos para portfólio dos decisores com os orçamentos definidos para este estudo. A Tabela 27 descreve o ROI para cada ano, de acordo com a Equação 5, e constata-se que o

menor ROI está nas escolhas dos especialistas em 2016 com 68,43%. No ano de 2017, o orçamento destinado apresenta 96,75% nos resultados do SIAD, contra 93,58% dos especialistas, e o orçamento previsto do ano de 2019 é marcado pelo maior ROI no período e tipos de orçamentos com 100,49%.

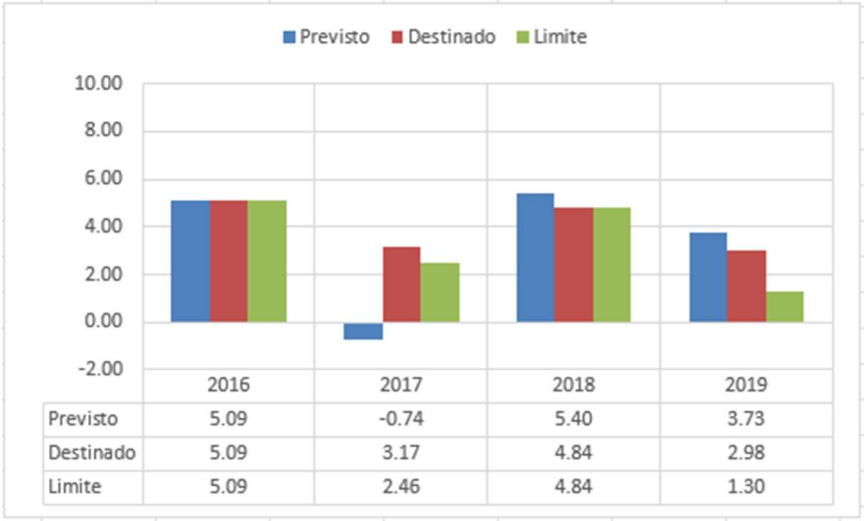
Tabela 27 – ROI VGVB do total dos projetos selecionados ano a ano em percentil.

Base Executada Ano	Especialistas	Previsto	Destinado	Limite 2,5%
2016	68,43	73,52	73,52	73,52
2017	93,58	92,84	96,75	96,03
2018	72,05	77,45	76,89	76,89
2019	96,76	100,49	99,74	98,06

Fonte: O Autor (2023).

No paralelo entre o ROI do VGVB e a comparação com o mesmo parâmetro para especialistas, pode-se observar que o maior ganho está na ordem de 5,40% no orçamento previsto de 2018, e o menor, no orçamento limite de 2019.

Figura 21 – Variação do ROI VGVB comparado com seleção dos especialistas.



Fonte: O Autor (2023).

A Figura 21, além de descrever os ganhos referentes ao ROI do VGVB, descreve uma perda de 0,74%, quando se observa o ano de 2018 no orçamento previsto. Destaca-se também que no ano de 2016, todos os anos apresentam ganhos de 5.09%. No mesmo sentido, pode-se observar que com o ROI do VGVL,

tem-se uma vantagem na aplicação da ferramenta de apoio sobre as escolhas do comitê de decisão. Neste sentido, pode-se citar o ano de 2018, com 50,17% de ROI em relação aos 54,03% nas escolhas dos especialistas com o orçamento destinado, respectivamente. Há no ano de 2019 o maior ROI VGVL em 76,22% no orçamento previsto, e o menor deles em 2016, contabilizando 46,40% para os especialistas, conforme observado na Tabela 28.

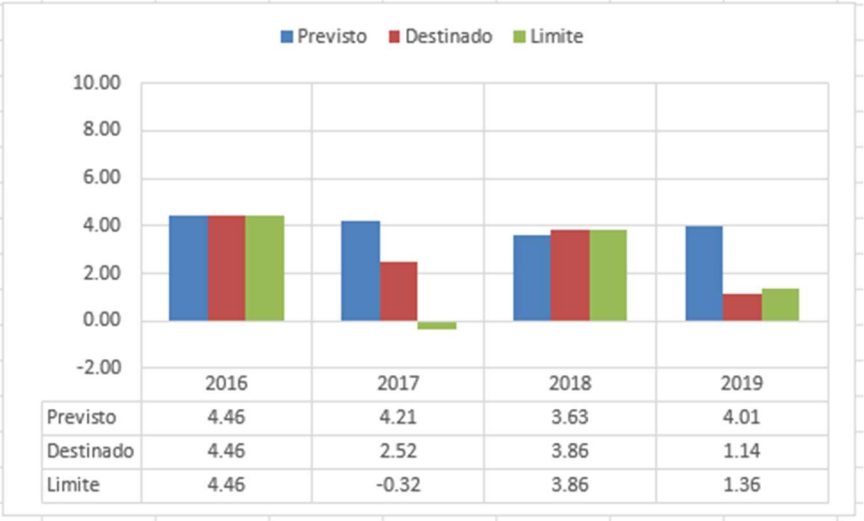
Tabela 28 – ROI VGVL do total dos projetos selecionados ano a ano em percentil.

Base Executada Ano	Especialistas	Previsto	Destinado	Limite 2,5%
2016	46,40	50,86	50,86	50,86
2017	59,78	63,98	62,29	59,46
2018	50,17	53,80	54,03	54,03
2019	72,21	76,22	73,35	73,56

Fonte: O Autor (2023).

A Figura 22 descreve os resultados quando se compara os ganhos em termos de ROI do VGVL para todos os anos: com perda de 0,32% em 2017 no orçamento limite e em 2016, os maiores ganhos de cerca de 4,46% em todos os orçamentos.

Figura 22 – Variação do ROI VGVL comparado com seleção dos especialistas.



Fonte: O Autor (2023).

Finalmente, o ROI do VGVG bruto e do líquido com a ferramenta trouxe ganhos significativos, demonstrando que as sugestões das escolhas promovem a

otimização dos recursos disponíveis quando comparado as seleções dos projetos realizados pelo comitê de decisão da Construtora Nordeste. Neste sentido, destaca-se também um aspecto positivo: a ferramenta permitiu não só ganhos maiores com o VGVB e VGVL na maioria dos casos, ainda que somados e analisados em conjunto, como também a redução dos custos em diversas oportunidades no período analisado, o que consiste em mais um impacto positivo para a adoção de ferramentas de apoio no processo decisório, principalmente na combinação de técnicas como a que aqui se apresenta.

6.4 IMPACTOS NOS TIPOS DE PRODUTO

Conforme descrito anteriormente, as escolhas do comitê de decisão da Construtora Nordeste se amparam com a utilização de uma pesquisa de inteligência de mercado, o que para esta pesquisa não foi disponibilizada, e desta forma o detalhamento ou aprofundamento de o quanto esta pesquisa impacta no processo decisório não está no escopo deste estudo de caso. De todo jeito, é importante analisar quais os impactos nos produtos, comparando as escolhas da seleção por especialistas em contrapartida com as dos orçamentos.

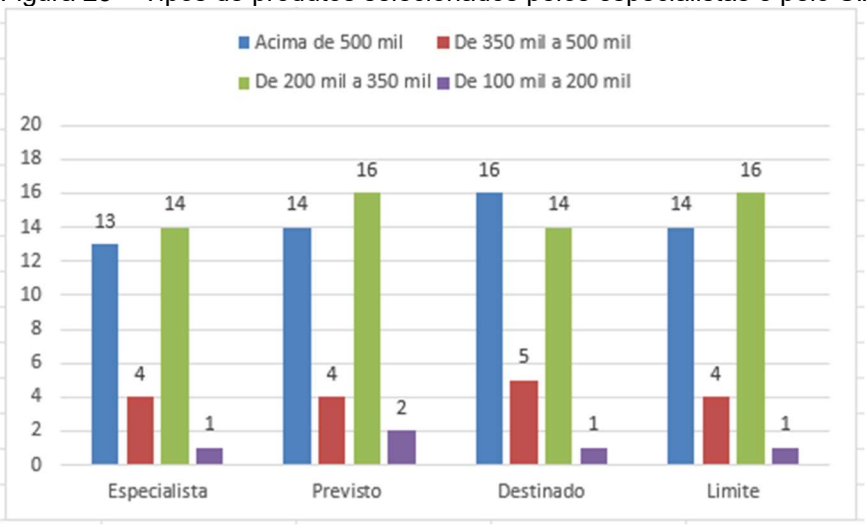
Esta última análise se dará em dois momentos: primeiramente, considerando a seleção como está, mesmo com projetos repetidos, e num segundo momento, considerando apenas projetos repetidos uma única vez. No capítulo 3, já foi explicitado quais tipos de projetos existem na ferramenta e de como os quarenta projetos da base se apresentam em relação aos seus tipos. Portanto, nesta subseção, serão considerados apenas os projetos selecionados, não levando em consideração todos os projetos existentes.

A Figura 23 mostra os tipos de produtos selecionados pelos especialistas e pelo SIAD. A partir desta figura, observa-se que a ferramenta, quando considerando a repetição dos projetos, leva em conta: um maior número de projetos acima de 500 mil; nos orçamentos previsto e limite, a mesma quantidade de itens selecionados por especialistas; e nos orçamentos previstos e limite, a mesma quantidade para o tipo de 350 mil a 500 mil.

No caso do tipo de produto de 200 mil a 350 mil, os orçamentos dos especialistas apresentam a mesma quantidade de quatorze itens selecionados, o mesmo ocorrendo para os orçamentos previsto e limite com dezesseis cada. No que

diz respeito ao tipo de 100 mil a 200 mil, a escolha foi de um projeto selecionado pelos especialistas nos orçamentos destinado e limite, e divergente apenas no previsto, com dois projetos selecionados deste tipo.

Figura 23 – Tipos de produtos selecionados pelos especialistas e pelo SIAD.

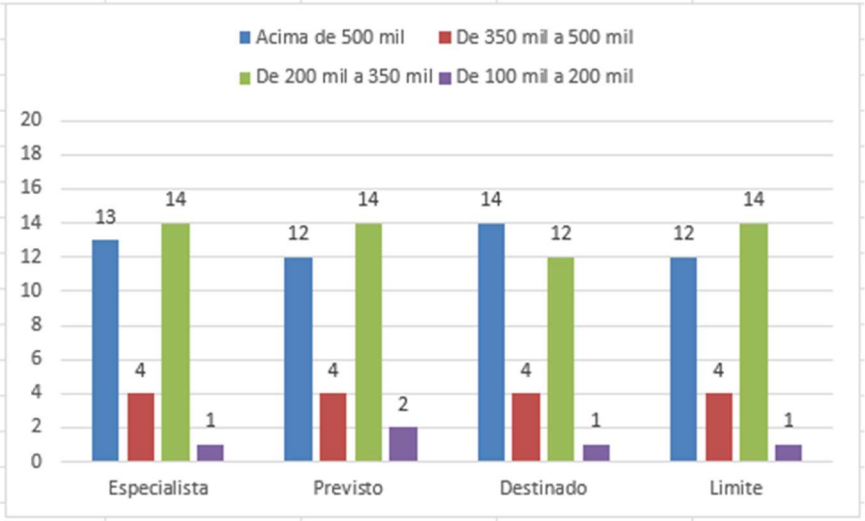


Fonte: O Autor (2023).

Em relação à análise sem repetições, considerando um projeto apenas, uma vez tem-se que os projetos do tipo acima de 500 mil possui a quantidade de um a mais no orçamento destinado quando considerado a opinião dos especialistas. Desta forma, há quatorze contra treze itens, o que não ocorre nos demais orçamentos, com uma unidade a menos, totalizando doze.

Para o tipo de 350 mil a 500 mil, existem o mesmo número para todos na ordem de quatro deles selecionados, o que praticamente ocorre naqueles de tipo de 100 mil a 200 mil, com exceção do orçamento previsto, pois enquanto para os demais existem uma unidade selecionada, para este orçamento houve a seleção de duas. A mesma tendência pode ser observada para a seleção de projetos de tipo de 200 mil a 350 mil, desta vez para o orçamento destinado que possui doze itens selecionados enquanto os demais apresentam quatorze ao todo. Esses resultados estão mostrados na Figura 24.

Figura 24 – Variação do ROI VGVL comparado com seleção dos especialistas.



Fonte: O Autor (2023).

O SIAD não dispõe de mecanismos para a preocupação com a quantidade por tipo de produto, e não houve a informação por parte da Construtora Nordeste sobre quais seriam os itens prioritários por ano ou no contexto geral. Contudo, a ferramenta será aplicada novamente, considerando bases com os projetos por tipo, para compreender que informações podem ser extraídas desta análise. Antes disso, é necessário definir os orçamentos, e para isso, os valores alocados como custo de obra serão somados na escolha dos itens pelos especialistas, e depois será aplicado como orçamento na ferramenta de apoio a decisão. Estes valores são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 – Custo da obra por tipo de produto.

Tipo de Produto	Custo de Obra (milhões de R$)
Acima de 500 mil	517,14
De 350 mil a 500 mil	200,92
De 200 mil a 350 mil	706,25
De 100 mil a 200 mil	22,62

Fonte: O Autor (2023).

Os custos de obras, considerando todos os itens selecionados pelos especialistas que foram destinados, irão se refletir como orçamento para utilização na ferramenta, e é salutar informar que serão utilizados os quarenta projetos

existentes e eles serão divididos desta vez, não pelas escolhas dos especialistas a cada ano, mas sim, por tipo de produto. Desta forma, as bases terão o nome base_projetos_tipo.csv, onde o termo tipo será substituído em cada base para representar as tipologias diferentes, sendo o termo 500mil para o tipo Acima de 500 mil, 350 para de 350 mil a 500 mil, 200 para o tipo de 200 mil a 350 mil, e por fim 100, no tipo de 100 mil a 200 mil. Como exemplo, a forma da base deste último tipo terá a nomenclatura base_projetos_100.csv. Vale ressaltar que todos os arquivos estão em formato .csv. A Tabela 30 apresenta os resultados da seleção de projetos por tipo da ferramenta, quando comparada com as escolhas dos especialistas que foi realizada por ano.

Tabela 30 – Projetos selecionados por especialistas e o SIAD orçamento limite.

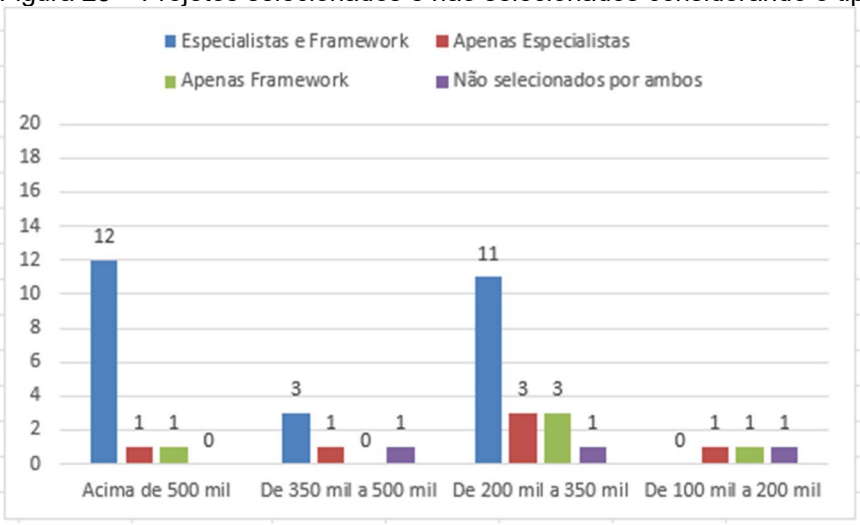
Tipo de Produto	Especialistas		SIAD	
	Selecionados	Não selecionados	Selecionados	Não selecionados
Acima de 500 mil	1, 2, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 19, 21, 23, 27, e 30	8	1, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 19, 21, 23, 27, e 30	2
De 350 mil a 500 mil	5, 14, 29, e 34	32	14, 29, e 34	5 e 32
De 200 mil a 350 mil	3, 4, 9, 17, 18, 20, 22, 25, 26, 28, 31, 36, 37, e 39	15, 24, 38, e 40	4, 9, 15, 17, 18, 20, 22, 24, 28, 31, 36, 37, 39, e 40	3, 25, 26, e 38
De 100 mil a 200 mil	16	33 e 35	35	16 e 33

Fonte: O Autor (2023).

Observa-se que para os projetos de tipo acima de 500 mil, ambas as partes selecionaram a mesma quantidade de projetos, com total de treze projetos cada. Isto também ocorre nos projetos de tipo 200 mil a 350 mil, com a diferença que desta vez, houve a seleção de quatorze projetos para cada parte. Para os projetos de tipo de 350 mil a 500 mil, a ferramenta selecionou um projeto a menos, enquanto nos projetos de 100 mil a 2000 mil, há uma relação de paridade com a seleção de um

projeto para cada uma das partes analisadas, contudo os projetos selecionados diferem entre si.

Figura 25 – Projetos selecionados e não selecionados considerando o tipo de produto.



Fonte: O Autor (2023).

A Figura 25 traduz as interseções e divergências quando analisados quais projetos foram selecionados por cada parte. Para os projetos acima de 500 mil, tem-se apenas que um item foi escolhido exclusivamente pelo SIAD e da mesma forma pelos especialistas. Para os projetos do tipo de 200 mil a 350 mil, a quantidade é de três projetos exclusivos para cada parte. Nos projetos de 350 mil a 500 mil, apresenta-se que um projeto foi escolhido exclusivamente pelos especialistas, mas não houve escolha exclusiva por parte do SIAD. E para os projetos de tipo de 100 mil a 200 mil, não há projetos comuns escolhidos entre a ferramenta de apoio e o comitê de decisão.

Atenta-se ao fato da escolha dos projetos de tipo de 100 mil a 200 mil, pois a ferramenta apresenta limitações em relação à implementação do problema da mochila, não obtendo o resultado ótimo. A ferramenta escolheu o projeto 35, ao invés do projeto 16, que possui melhores valores de VGVB e VGVL, No entanto, isso impacta a abordagem na visão por tipo de projeto, mas não trouxe impactos maiores à análise e se provou uma melhoria, conforme visto nas seções anteriores.

6.5 VARIAÇÕES ORÇAMENTÁRIAS E RESULTADOS

Conforme descrito anteriormente, o processo da definição do orçamento a ser destinado para a composição do portfólio é resultado da escolha do comitê de decisão. Contudo, é sabido que há a definição de um valor prévio por uma análise de viabilidade realizada por setor interno a Construtora Nordeste, e há um acréscimo ao valor orçamentário previsto, que não pode ultrapassar o limite de 2,5% incidente sobre o valor previsto, tudo isso com base na opinião dos especialistas em relação aos projetos que devem compor o portfólio. Dito isto, sabe-se que há uma variação entre o orçamento previsto e o orçamento que realmente foi destinado a cada ano, e esta variação pode ser visualizada na Figura 26.

Figura 26 – Variação orçamentária previsto e destinado ano a ano em percentil.

Fonte: O Autor (2023).

No ano de 2016, tem-se um aumento em 0,54% do orçamento previsto para aquele ano, sendo em 2017 a menor variação encontrada com aumento de 0,33%. já em 2018, vê-se o maior valor percentil na relação orçamento previsto e destinado com 2,47% de aumento, e por fim em 2018, o aumento foi de 2,05%, variações estas que impactam no valor final destinado de cada ano. No presente estudo, aplicou-se a ferramenta no orçamento previsto e o orçamento destinado reflete a escolha dos decisores. Já o orçamento limite, com acréscimo de 2,5% sobre o destinado, reflete o valor máximo que poderia ser aplicado. No entanto, neste momento, será utilizada uma variação de 0,50%, de 1,00%, 1,50%, e de 2,00%

sobre o orçamento previsto e será entendido os impactos nas seleções dos projetos. A Tabela 31 mostra os valores quando aplicadas as variações acima descritas.

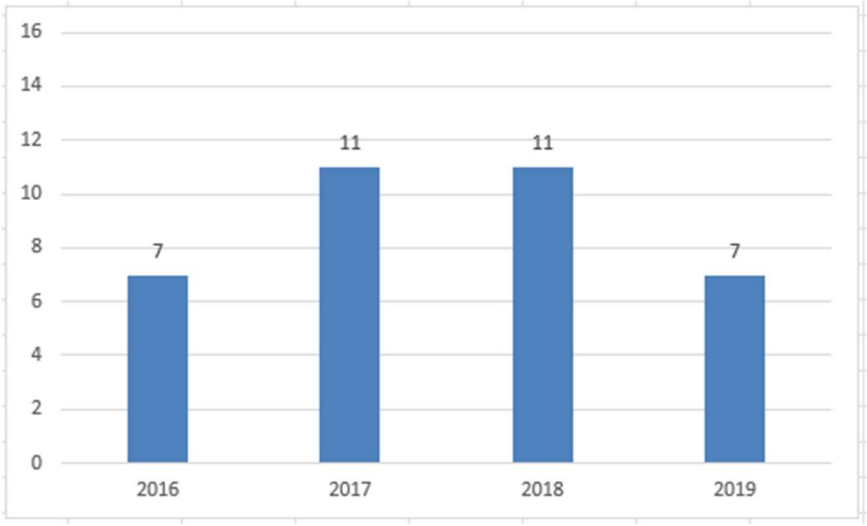
Tabela 31 – Orçamentos em milhões acrescidos de percentis a partir do orçamento previsto.

Ano	Previsto em milhões R$	0,50%	1,00%	1,50%	2,00%
2016	155,00	155,78	156,55	157,33	158,10
2017	372,00	373,86	375,72	377,58	379,44
2018	465,00	467,33	469,65	471,98	474,30
2019	432,50	434,66	436,83	438,99	441,15

Fonte: O Autor (2023).

O próximo passo é aplicar o orçamento previsto nas bases que contém as escolhas dos especialistas e comparar os resultados para cada variação dos orçamentos. Ao final, haverá quatro arquivos nomeados como resultados_projetos_ano_percentil.csv, onde a palavra ano será substituída pelo referido ano, por exemplo 2016, e o a palavra percentil, pelo percentil correspondente separado por hífen para representar a vírgula. Por exemplo, 0-5 será referente à variação de 0,5% e desta forma, um arquivo de resultado terá o seguinte nome: resultados_projetos_2016_0-5.csv. Todos os arquivos resultantes estarão no formato .csv.

Figura 27 – Quantidade de projetos com as variações orçamentárias.



Fonte: O Autor (2023).

A Figura 27 mostra que a quantidade de projetos selecionados não sofreu alterações, sendo a mesma quantidade para todas as variações orçamentárias aplicadas, com os anos de 2017 e 2018 apresentando a mesma quantidade de onze, e os anos de 2016 e 2019 com quantidades iguais. Neste último caso, sete projetos foram selecionados em todas as variações percentuais consideradas. Quando se considera quais projetos foram selecionados, não existem variações nos projetos selecionados nos anos de 2016 e 2017, existindo variações apenas nos anos de 2018 e 2019. No ano de 2018, nos orçamentos acrescidos de 0,50% ou 1,00%, o projeto 15 entre outros foram selecionados, mas não aparece nas variações seguintes. O que ocorre é que quando orçamento destinado têm acréscimo de 1,50% ou 2,00%, o projeto 14 é selecionado.

No ano de 2019 existem variações maiores se comparado com os anos anteriores; o projeto 33 foi selecionado apenas quando a variação é de 0,50% sobre o orçamento destinado; nas variações de 1,00% e de 1,50%, o projeto 35 aparece na seleção, mas não nas demais. No mesmo ano de 2019, o projeto 40 é selecionado nas variações de orçamento de 0,50%, 1,00%, e de 1,50%, contudo, quando se observa a variação de 2,00% sobre o orçamento, os projetos selecionados foram 8 e 24, diferente das outras variações. Esses resultados referentes aos anos 2018 e 2019 são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Projetos selecionados na variação orçamentária a cada ano.

Ano	0,50%	1,00%	1,50%	2,00%
2018	15	15	14	14
2019	33 e 40	35 e 40	35 e 40	8 e 24

Fonte: O Autor (2023).

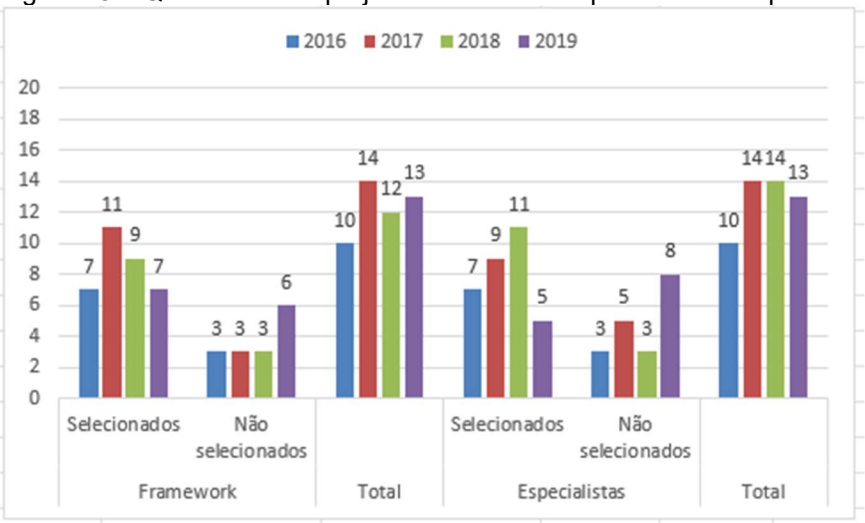
As variações orçamentárias permitiram identificar um pouco do fenômeno de variação de quais projetos foram selecionados a cada ano, e abrem espaço para compreender melhor a importância da variação do orçamento, bem como é um importante passo para visualizar que quando possíveis, um acréscimo orçamentário diferente daquele estipulado pode ser otimizado com ferramentas disponíveis para tal fim.

6.6 SIAD COMO FERRAMENTA ÚNICA DE SELEÇÃO

Realizou-se o processo de aplicação do SIAD com recursos computacionais partindo da visão das escolhas dos especialistas e de forma a considerar cada ano de forma separada, simulando o cenário em que a ferramenta de apoio a decisão estivesse disponível para suportar o processo decisório. Nesta seção, a aplicação se dará a partir da visão dos projetos disponíveis de 2016 e a seleção aceita pela integralidade do SIAD; o que se traduz é que para o ano seguinte, os projetos que não forem selecionados pelo SIAD serão transportados, formando uma base com os projetos entrantes naquele ano, adicionados pelos projetos que não foram selecionados no ano anterior e se tornaram parte da mesma base.

Para tal objetivo, foram criadas bases novas que acompanham essa evolução. As bases foram nomeadas seguindo o padrão base_projetos_SIAD_ano.csv, onde a palavra ano é substituída pelo respectivo ano de referência. O processo de aplicação da ferramenta de apoio foi realizado mantendo a fidelidade ao processo original, onde os projetos não selecionados em um ano são transportados para o outro, e os projetos que são adicionados a cada respectivo ano ingressam na base. Mesmo que a ferramenta selecione uma quantidade maior ou menor de projetos, a quantidade adicional segue sempre a relação entre os projetos que foram adicionados no ano, mais os transportados ou não selecionados do ano anterior. Não houve o registro dos tempos computacionais para a execução de cada uma das bases, mas após a execução e em relação à quantidade de projetos escolhidos, existem diferenças que podem ser observadas na Figura 28.

Figura 28 – Quantidade de projetos selecionados pelo SIAD e especialistas.

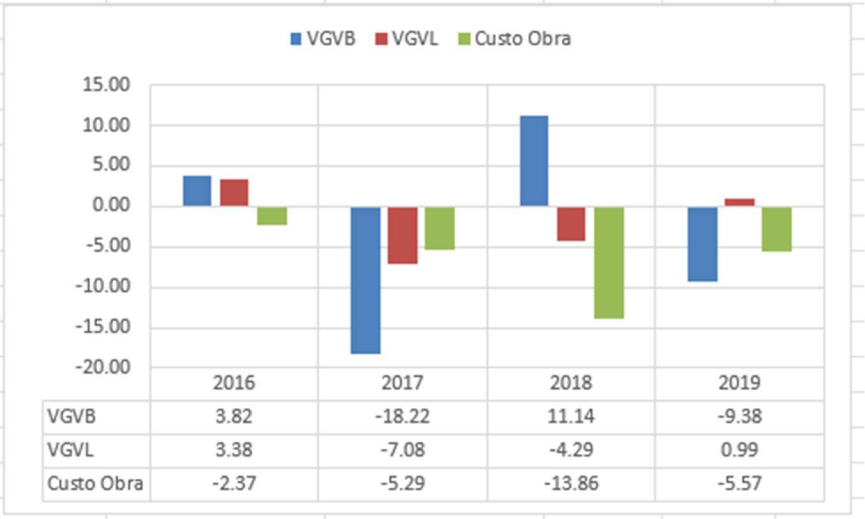


Fonte: O Autor (2023).

A primeira diferença observada é que a quantidade de projetos disponíveis para ano de 2018 se altera, existindo doze ao invés dos quatorze disponíveis, quando da escolha pelos decisores. Para os demais anos, a quantidade disponível para seleção é a mesma. No que diz respeito aos projetos selecionados, a ferramenta escolhe em 2017 e 2019 uma quantidade de dois projetos a mais do que os especialistas, mas essa relação se inverte em 2018, com a seleção de dois projetos a mais pelos especialistas. Vale ressaltar que neste ano havia uma quantidade menor de projetos a serem escolhidos pelo SIAD, conforme descrito anteriormente. Essas diferenças impactam no total de projetos selecionados, enquanto a ferramenta de apoio seleciona ao todo trinta e quatro projetos, os especialistas optaram por trinta e dois na composição do portfólio.

Com as quantidades observadas, a fase seguinte foi observar o impacto da escolha do SIAD para o VGVB, VGVL e custo de obra. Ao primeiro passo, o VGVB e o VGVL, quando comparados com a escolha dos especialistas, apresentou um aumento de pouco mais de R$ 3.000.000,00 (três milhões de Reais) para o ano de 2019, sendo o aumento mais expressivo no VGVB em 2018 na ordem de R$ 11.140.000,00 (onze milhões e cento e quarenta mil Reais), e o menor aumento em R$ 990.000,00 (novecentos e noventa mil Reais) referente ao VGVL em 2019. Em contraste, houve uma redução do VGVB e VGVL em alguns anos, sendo o mais expressivo a redução de R$ 18.220.000,00 (dezoito milhões e duzentos e vinte mil Reais) no ano de 2017 para VGVB, o que é ilustrado na Figura 29.

Figura 29 – Variação do VGVB, VGVL e custo obra do SIAD e especialistas.

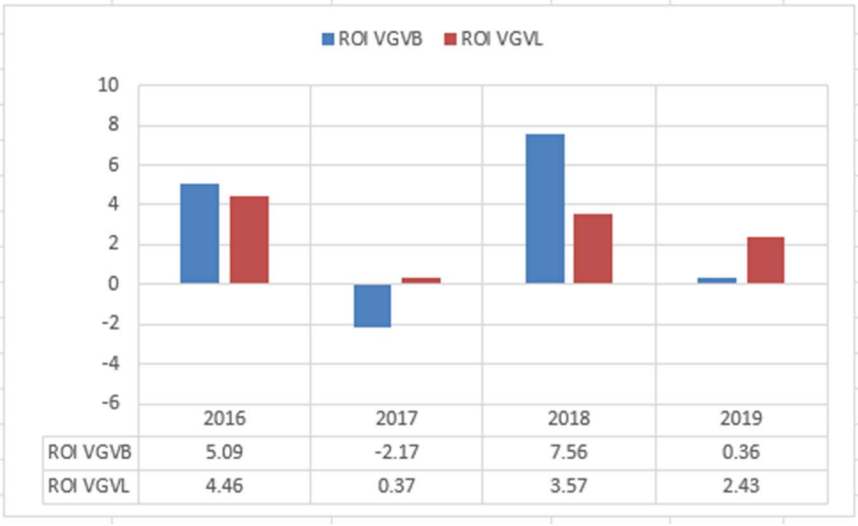


	2016	2017	2018	2019
VGVB	3.82	-18.22	11.14	-9.38
VGVL	3.38	-7.08	-4.29	0.99
Custo Obra	-2.37	-5.29	-13.86	-5.57

Fonte: O Autor (2023).

Contudo, alguns aspectos devem ser considerados. Observa-se que houve também uma redução dos custos de obra em todos os anos, desta forma, o próximo passo foi a aplicação do ROI sobre VGVB e VGVL e a comparação das seleções da ferramenta de apoio com a dos especialistas. A primeira inferência que pode ser feita é que o ROI tanto para VGVB e VGVK apresenta melhores resultados, com exceção do ano VGVB bruto em 2017 que possui uma perda de R$ 2.170.000,00 (dois milhões e cento e setenta mil Reais). No que diz respeito aos ganhos, o ano de 2018 é marcado pelo maior valor para VGVB, na ordem de R$ 7.560.000,00 (sete milhões quinhentos e sessenta mil Reais) e para VGVL o maior valor está presente no ano de 2016 com R$ 4.460.000,00 (quatro milhões quatrocentos e sessenta mil Reais), sendo os menores valores em R$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil Reais) para VGVB e R$ 370.000,00 (trezentos e setenta mil Reais) para VGVL nos anos de 2019 e 2017, respectivamente, conforme Figura 30.

Figura 30 – ROI VGVB e VGVL do SIAD e especialistas.



	2016	2017	2018	2019
ROI VGVB	5.09	-2.17	7.56	0.36
ROI VGVL	4.46	0.37	3.57	2.43

Fonte: O Autor (2023).

A utilização do SIAD como ferramenta única de decisão serve para demonstrar que as técnicas combinadas apresentam resultados de otimização dos recursos disponíveis, refletindo assim em melhorias na composição do portfólio de projetos da Construtora Nordeste, o que pode ser estendido a outras organizações que possuem o mesmo cenário. Destaca-se que a SIAD não consegue capturar todo o processo de decisão, servindo apenas como ferramenta de apoio. De acordo com a Construtora Nordeste, existem projetos que foram escolhidos pela existência de parcerias corporativas, outros, por questões de posicionamento no mercado, e alguns pela tipologia do produto. No entanto, não houve a apresentação do detalhamento de quais são esses projetos de forma específica na base de dados informada, desta feita, a informação é aqui relevante para enaltecer a opinião dos especialistas e apontar algumas das diferenças encontradas na seleção com o SIAD.

7 CONCLUSÃO

O SIAD que aplica os valores de Shapley e a o problema da mochila, demonstrou ser uma abordagem que permite a melhoria do processo de seleção de portfólio, pois além de encontrar resultados que maximizaram os resultados financeiros, vislumbrou uma gama de possibilidades no processo decisório existente. A possibilidade de aplicar as referidas técnicas da Pesquisa Operacional combinadas em um estudo de caso demonstrou o quanto é factível e repleto de possibilidades a abordagem aqui adotada.

O modelo proposto, combinando as duas técnicas, permite uma nova perspectiva sobre a aplicação do problema da mochila, que quando combinada aos valores de Shapley, busca atribuir aos projetos a elicitação da utilidade de forma a contribuir nas preferências no processo decisório, oferecendo uma visão mais dinâmica com as coalizões num processo de interatividade e cooperação promovendo uma distribuição de forma a maximizar os recursos disponíveis como visualizado no retorno sobre os investimentos, bem como a escolha de projetos que não foram selecionados pelos decisores abrindo margem para novas composições de portfólio e consequentemente contribuindo sensivelmente para a análise de decisão.

Baseado em pesquisas na literatura, constatou-se que essa proposta é inédita e tem potencial de impactar a área de composição de portfólio de projetos, uma vez que uma das maiores dificuldades encontradas sempre foi a de uma função objetivo que reflita as utilidades dos projetos, em detrimento do que se costuma fazer comumente: a maximização de métricas econômicas, como Valor Presente Líquido. Para além disso, outro caráter inovador desta proposta é a de que as combinações previstas no cálculo dos valores de Shapley também incorporam a ideia de sinergia de projetos, outro ponto com alto grau inovador.

Os resultados possuem funções importantes tanto na contribuição socioeconômica, já que a melhor utilização de recursos permite a manutenção da saúde financeira das organizações, bem como em questões tecnológicas, onde os recursos computacionais permitem a agilidade e a aumento da precisão no processo de apoio a decisão. Não obstante registra-se que o referido estudo de caso apresentado trouxe diversos desafios, dentre eles: analisar os dados, e compreender a seleção e priorização de portfólio existente na organizando, no intuito

de encontrar as lacunas do processo e buscar melhorias; identificar e aplicar as técnicas correspondentes na Pesquisa Operacional na solução do problema em específico de composição e gestão do portfólio de projetos; o desenvolvimento do produto tecnológico com interface gráfica, de forma a suportar a entrada de dados e promover resultados esperados, com precisão e com saída de forma compreensível.

Em detrimento aos desafios expostos, relata-se que eles foram fundamentais para o aprofundamento na adoção e aplicação de técnicas da Pesquisa Operacional suportadas por recursos computacionais, o que levaram a produção de um produto tecnológico e a elevação do nível de aprendizado pela possibilidade em desenvolver a referida pesquisa. Além disso, a ausência de participação dos decisores na discussão sobre os resultados encontrados limitou a validação prática dos resultados e as melhorias que poderiam ser propostas por eles. De qualquer forma, não só as competências técnicas se elevaram, mas também os resultados demonstram que é possível abranger mais o espaço da ciência e tecnologia dos espaços acadêmicos para uma inserção cada vez mais nas empresas, com ganhos para ambos. Se por um lado, os estudos científicos enriquecem, por outro, as empresas terão disponíveis resultados melhores e uma maior efetividade.

O presente trabalho possui impactos nas perspectivas econômica e social. Do ponto de vista econômico, a partir do momento em que se objetiva que os recursos existentes sejam otimizados, ou seja, investidos de forma a maximizar os retornos e minimizar os riscos, há a expectativa que os objetivos estratégicos das organizações sejam alcançados. Sendo assim, as organizações teriam uma ferramenta estratégica para conduzir melhor suas ações e projetos. Já em relação aos impactos sociais, uma vez que os recursos são bem administrados, espera-se que haja a manutenção de empregos, da saúde financeira da empresa, e da cadeia de valor.

O referido estudo de caso abriu espaço para trabalhos futuros, a partir de limitações identificadas na versão atual. Entre eles, pode-se observar: **(i)** adaptar o código do problema da mochila para trabalhar com números fracionários representando melhor o orçamento, **(ii)** permitir que o decisor defina se existem projetos que devem obrigatoriamente compor o portfólio, sendo obrigatoriamente selecionados para um período qualquer, **(iii)** aplicar a ferramenta de suporte a decisão e coletar a opinião dos decisores para compreender outras melhorias do processo que podem ser realizadas, **(iv)** permitir que o SIAD defina a quantidade de produtos diferentes que devem ser selecionados, e **(v)** possibilitar que haja a criação

de cenários com variações orçamentárias dentro do SIAD permitindo assim a simulação de cenários e comparações dentre os orçamentos apresentados pelos decisores. Uma outra possibilidade é a de se explorar melhor o conceito de sinergia entre projetos, a partir da proposta apresentada neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABDELAZIZ, Fouad Ben; MALLEK, Ray Saadaoui. Multi-criteria Optimal Stopping Methods Applied to the Portfolio Optimisation Problem. **Annals of Operations Research**, vol. 267: 29-46, 2008.

AFSHARI, A. Reza. Selection of construction project manager by using delphi and fuzzy linguistic decision making. **Journal of Intelligent Fuzzy Systems**, 2827-2838, 2015.

AHMED, Shamima; ALSHATER, Muneer M.; AMMARI, Anis El; HAMMAMI, Helmi. Artificial Intelligence and Machine Learning in Finance: A Bibliometric Review. **Research in International Business and Finance**, vol. 61: 101646, 2022.

AITHAL, Prakash K.; GEETHA, M.; U, Dinesh; SAVITHA, Basri; MENON, Parthiv. Real-Time Portfolio Management System Utilizing Machine Learning Techniques. **IEEE Access**, vol. 11: 32595-32608, 2023.

ANAND, Abhishek; GOVINDARAJAN, Arvind; NARIO, Luis; PATHAK, Kirtiman; BANKS, Marcia; LEUNG, Som-Iok. McKinsey & Company. **Data and analytics innovations to address emerging challenges in credit portfolio management**. 2022. Disponível em: https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/data-and-analytics-innovations-to-address-emerging-challenges-in-credit-portfolio-management. Acesso em: 07 de agosto de 2023.

ANTONAKAKIS, Nikolaos; CHATZIANTONIOU, Ioannis; GABAUER, David. A Regional Decomposition of US Housing Prices and Volume: Market Dynamics and Portfolio Diversification. **The Annals of Regional Science**, vol. 66: 279-307, 2021.

AOUNI, Belaid; COLAPINTO, Cinzia; LA TORRE, Davide. Financial portfolio management through the goal programming mod**el**: Current state-of-the-art. **European Journal of Operational Research**, 234; n. 2: 536-545, 2014.

ARCHER, N.P.; GHASEMZADEH, F. An integrated framework for project portfolio. **International Journal of Project Management**, 1999: 207, 2016.

ARENALES, Marcos. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier; 2011.

AUER, Benjamin R.; HILLER, Tobias. Cost Gap; Shapley; OR Nucleolus Allocation: Which Is the Best Game-theoretic Remedy for the Low-risk Anomaly? **Managerial and Decision Economics**, 42: 876-884, 2021.

BAI, Libiao; ZHANG, Kaimin; SHI, Huijing; AN, Min; HAN, Xian Wu. Project Portfolio Resource Risk Assessment considering Project Interdependency by the Fuzzy Bayesian Network. **Complexity**, vol. 2020: 1-21, 2020.

BAKER, Erin; BOSETTI, Valentina; SALO, Ahti. Robust Portfolio Decision Analysis: an Application to the Energy Research and Development Portfolio Problem. **European Journal of Operational Research**, 284: 1107-1120, 2020.

BAN, Gah-Yi; EL KAROUI, Noureddine; LIM, Andrew E.B. Machine Learning and Portfolio Optimization. **Management Science**, 64: 1136-1154, 2018.

BANGJUN, Wang; FENG, Zhaolei; FENG, Ji; YU, Pan; CUI, Linyu. Decision Making on Investments in Photovoltaic Power Generation Projects Based on Renewable Portfolio Standard: Perspective of Real Option. **Renewable Energy**, 189: 1033-1045, 2022.

BASTANI, Hamsa; BAYATI, Mohsen. Online Decision Making with High-Dimensional Covariates. **Operations Research**, 68: 276-294, 2020.

BECHTEL, Jadena; KAUFMANN, Carsten; KOCK, Alexander. The Interplay between Dynamic Capabilities' Dimensions and Their Relationship to Project Portfolio Agility and Success. **International Journal of Project Management**, 41.4: 102469, 2023.

BELIAKOV, Gleb. Knapsack Problems with Dependencies through Non-additive Measures and Choquet Integral. **European Journal of Operational Research**, 301: 277-286, 2022.

BELLIVEAU, Paul; GRIFFIN, Abbie; SOMERMEYER, Stephen. **The PDMA Toolbook for New Product Development**. New York: John Wiley & Sons, 2002.

BENNER, Mary J.; TUSHMAN, Michael L. Reflections on the 2013 decade award – Exploitation, exploration; and process management: the productivity dilemma revisited ten years later. **The Academy of Management Review**, 40; nº 4: 497-514, 2015.

BENZ, Lukas; JACOB, Andrea; PAULUS, Stefan; WILKENS, Marco. Herds on Green Meadows: The Decarbonization of Institutional Portfolios. **Journal of Asset Management**, 21: 13-31, 2020.

BHAGAT, Smriti; KIM, Anthony; MUTHUKRISHNAN, S; WEINSBERG, Udi. The Shapley Value in Knapsack Budgeted Games. **Arvix**, 2014.

BHATTACHARYYA, Rupak. A grey theory based multiple attribute approach for R&D project portfolio selection. **Fuzzy Information and Engineering**, vol. 2015: 211-225, 2015.

BLINCHFELDT, Bodil Stilling; ESKEROD, Pernille. Project Portfolio Management – There's More to It than What Management Enacts. **International Journal of Project Management**, 26; nº 4: 357-365, 2008.

BOANADA-FUCHS, Anthony; BOANADA FUCHS, Vanessa. The Role of Real Estate Developers in Urban Development. **Geoforum**, 134: 173-177, 2022.

BONACCOLTO, Giovanni; PATERLINI, Sandra. Developing New Portfolio Strategies by Aggregation. **Annals of Operations Research**, 292: 933-971, 2020.

BRIGHAM, Eugene F.; EHRHARDT, Michael C. **Administração Financeira**: Teoria e Prática. São Paulo: Cengage Learning; 2010.

CABALLERO, William N.; JENKINS, Phillip R.; KEITH, Andrew J. Poisoning Finite-horizon Markov Decision Processes at Design Time. **Computers & Operations Research**, 129: 105-185, 2021.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto, et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Elsevier: Rio de Janeiro, 2018.

CHA, Sangkwon; HWANG, Sunpil; KIM, Yibae. Business Strategy and Overvaluation: Evidence from Korea. **The Journal of Asian Finance, Economics, and Business**, 6: 83-90, 2019.

CHAPMAN, Chris B. Large Engineering Project Risk Analysis. **IEEE Transactions on Engineering Management**, vol. 1979: 78-86, 1979.

CHAPMAN, Chris B.; WARD, Stephen. **Project Risk Management: Process, Techniques and Insights**. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2003.

CHARBONNET, Dan. Common Portfolio Mistakes. **P.S.A. Journal**, 85; nº 1: 18, 2019.

CHENG, Longsheng; SHADABFAR, Mahboubeh; KHOOJINE, Arash SIOOFY. A State-of-the-Art Review of Probabilistic Portfolio Management for Future Stock Markets. **Mathematics**, 11: 1148, 2023.

CHRISTENSEN, Clayton M.; BOWER, Joseph L. Customer power strategic investment and the failure of leading firms. **Strategic Management Journal**, 17; nº 3: 197-218, 1996.

CONSTANTINO, Francesco; DI GRAVIO, Giulio; NONIO, Fabio. Project selection in project portfolio management: An artificial neural network model based on critical success factors. **International Journal of Project Management**, 33; nº 8: 1744-1754, 2014.

COOPER, Robert G.; SOMMER, Anita Friis. New-Product Portfolio Management with Agile Challenges and Solutions for Manufacturers Using Agile Development Methods: Agile-Stage-Gate Hybrid Product Development Methods Demand New Tools and Processes for Portfolio Management. **Research Technology Management**, 63; nº 1: 29, 2020.

COOPER, Robert; EDGETT, Scott; KLEINSCHMIDT, Elko**. Portfolio management for new product development: result**s of an industry practices study. **R & D Management**, 31; nº 4: 361-380, 2001.

CRUZ, Vinícius Porto dos Santos; ARAUJO, Fernando Oliveira de. Relationship between Project Governance, Project Portfolio and Best Practices in an Energy Transmission Company. **Revista Produção e Desenvolvimento**, 7, 2021.

DAI, Zhifeng; KANG, Jie. Some New Efficient Mean–variance Portfolio Selection Models. **International Journal of Finance and Economics**, 27; nº 4: 4784-4796, 2022.

D'ARCY, Darren; HARVEY, Féilim. **Project Portfolio Management Pulse Survey**. Survey; PwC Ireland, 2021.

DAVIS, David L. Project Management Institute. **5 reasons why project managers will resist project portfolio management systems and 5 reasons they will embrace it**. 2007. Disponível em: https://www.pmi.org/learning/library/implementing-integrated-portfolio-management-systems-7239. Acesso em: 06 de agosto de 2023.

DEITEL, Paul; DEITEL, Harvey. **Intro to Python for Computer Science and Data Science**. New Jersey: Pearson, 2020.

DI MATTEO, Michael; MAIER, Holger R.; DANDY, Graeme C. Many-objective Portfolio Optimization Approach for Stormwater Management Project Selection Encouraging Decision Maker Buy-in. **Environmental Modelling & Software**, 111: 340-355, 2019.

DINÇER, Hasan; YÜKSEL, Serhat; MARTINEZ, Luis. Collaboration enhanced hybrid fuzzy decision-making approach to analyze the renewable energy investment projects. **Energy Reports**, 8: 377-389, 2022.

DOERING, Jana; KIZYS, Renatas; JUAN, Angel A.; FITÓ, Àngels; POLAT, Onur. Metaheuristics for Rich Portfolio Optimisation and Risk Management: Current State and Future Trends. **Applied Sciences**, 6: 100121, 2019.

DOERNER, K. F; GUTJAHR, W. J; HARTI, R. F; STRAUSS, C; STUMMER, C. Pareto Ant Colony Optimization with ILP Preprocessing in Multiobjective Project Portfolio Selection: Heuristic and Stochastic Methods in Optimization. **European Journal of Operational Research**, 171; nº 3: 830-841, 2006.

DREYER, Stephan; EGGER, Andreas; PÜSCHEL, Louis; RÖGLINGER, Maximilian. Prioritising smart factory investments - A project portfolio selection approach. **International Journal of Production Research**, 60; nº 3: 999-1015, 2022.

DURBACH, Ian N. et al. Fast and Frugal Heuristics for Portfolio Decisions with Positive Project Interactions. **Decision Support Systems**, 138: 113399, 2020.

DUTRA, Camila Costa; RIBEIRO, José Luis Duarte; DE CARVALHO, Marly Monteiro. An Economic–probabilistic Model for Project Selection and Prioritization. **International Journal of Project Management**, 32; nº 6: 1042-1055, 2014.

ECKERT, Theresa; HÜSIG, Stefan. Innovation Portfolio Management: A Systematic Review and Research Agenda in Regards to Digital Service Innovations. **Management Review Quarterly**, 72: 187-230, 2022.

EKBLOM, J.; BLOMVALL, J.. Importance Sampling in Stochastic Optimization: An Application to Intertemporal Portfolio Choice. **European Journal of Operational Research**, vol. 2020: 106-119, 2020.

ENGWALL, Mats; JERBRANT, Anna. The Resource Allocation Syndrome: The Prime Challenge of Multi-project Management? **International Journal of Project Management**, vol. 21, nº 6: 403-409, 2003.

ESCH, Martin; SCHNELLBÄCHER, Benedikt; WALD, Andreas. Does Integrated Reporting Information Influence Internal Decision Making? An Experimental Study of Investment Behavior. **Business Strategy and the Environment**, vol. 28: 599-610, 2019.

ESTRADA VAQUERO; Isabel; ZHOU, Haibo. Beyond the Scope of the Deal: Configuration of Technology Alliance Portfolios and the Introduction of Management Innovation. **British Journal of Management**, n.º 33: 980-996, 2022.

FAN; Ying; LEUNG, Charles Ka Yui; YANG, Zan. Financial Conditions, Local Competition, and Local Market Leaders: The Case of Real Estate Developers. **Pacific Economic Review**, n.º 27: 131-193, 2022.

GALAGEDERA; Don U.A. Modelling Social Responsibility in Mutual Fund Performance Appraisal: A Two-stage Data Envelopment Analysis Model with Non-discretionary First Stage Output. **European Journal of Operational Research**, 273: 376-389, 2019.

GANGA, Gilberto M. Devós. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na Engenharia de Produção**. Atlas: São Paulo, 2012.

GARTNER. PMO Research Team. **Key Findings From the 2022-2024 Strategic Portfolio Management Frameworks, Processes and Tools Survey. 2022**. Disponível em: https://www.gartner.com/en/doc/764578-key-findings-from-strategic-portfolio-management-frameworks-processes-and-tools-survey. Acesso em: 06 de agosto 2023.

GÄRTTNER; Johannes; FLATH, Christoph M.; WEINHARDT, Christof. Portfolio and Contract Design for Demand Response Resources. **European Journal of Operational Research**, 266: 340-353, 2018.

GE; Shan; WEISBACH, Michael S.. The Role of Financial Conditions in Portfolio Choices: The Case of Insurers. **Journal of Financial Economics**, 142: 803-830, 2021.

GIBBONS, Robert. **Game theory for applied economists**. Princeton University Press: New Jersey, 1992.

GOMES, Leonardo Augusto de Vasconcelos; CASTILLO-OSPINA , Danika A.; FACIN , Ana Lucia Figueiredo; FERREIRA, Camila dos Santos; OMETTO, Aldo

Roberto. Circular Ecosystem Innovation Portfolio Management. **Technovation** 124: 102745, 2023.

GOVINDAN, Kannan Aditi; DHINGRA DARBARI, Jyoti; KAUL , Arshia; PC JHA. Structural Model for Analysis of Key Performance Indicators for Sustainable Manufacturer–supplier Collaboration: A Grey-decision-making Trial and Evaluation Laboratory-based Approach. **Business Strategy and the Environment**, 30: 1702-1722, 2021.

GUERREIRO, Sérgio Luís Proença Duarte. Cooperative Decision-Making to Minimize Biased Perceived Value Effect on Business Process Decisions Using Partially Observable Markov Decision Processes. **Operations Research Forum 3**, 2022.

GUNJAN, Abhishek; BHATTACHARYYA, Siddhartha. A Brief Review of Portfolio Optimization Techniques. **The Artificial Intelligence Review**, 56: 3847-3886, 2023.

GUPTA, Nitish; PARK, Hyunkyu; PHAAL, Rob. The Portfolio Planning, Implementing, and Governing Process: An Inductive Approach. **Technological Forecasting & Social Change**, 180: 121652, 2022.

HAUSER, Adrian; EGGERS, Fabian; GÜLDENBERG, Stefan. Strategic Decision-making in SMEs: Effectuation; Causation; and the Absence of Strategy. **Small Business Economics**, 54: 775-790, 2020.

HAUSKEN, Kjell. The Shapley Value of Coalitions to Other Coalitions. **Humanities & Social Sciences Communications**, 7: 1-10, 2020.

HENDRIKS, MHA; VOETEN, B; KROEP, L. Human Resource Allocation in a Multi-project R&D Environment: Resource Capacity Allocation and Project Portfolio Planning in Practice. **International Journal of Project Management**, 17; nº 3: 181-188, 1999.

HEWITT, Mike; ORTMANN, Janosch; REI, Walter. Decision-based Scenario Clustering for Decision-making under Uncertainty. **Annals of Operations Research**, 315: 747-771, 2022.

HUANG, Yu-Hsiang; LARSON, Eric C.; SHAW, Michael J.; SUBRAMANYAM, Ramanath. Constructing Information Technology (IT) Portfolios to Achieve Enterprise Strategic Goals in Multi-business Unit Firms. **Information & Management**, 58: 103525, 2021.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução a Pesquisa Operacional**. 9ª ed. AMGH: Porto Alegre, 2013.

IM, Kwanyoung; NAM, Kihwan; CHO, Hyunbo. Towards Successful Business Model Management with Analytic Network Process-based Feasibility Evaluation and Portfolio Management. **Electronic Markets**, 30.3: 509-523, 2020.

INCOSE. **Systems Engineering Handbook**: A guide for life cycle process and activities. Seatle, WA: Incose; 2006.

ISAIAS, José Claudio; BALESTRASSI, Pedro Paulo; MARCONDES, Guilherme Augusto Barucke; SILVA, Wesley Vieira da; MELLO, Carlos Henrique PEREIRA; VEIGA, Claudimar Pereira da. Project Portfolio Selection of Solar Energy by Photovoltaic Generation Using Gini-CAPM Multi-Criteria and Considering ROI Covariations. **Energies**, 14; nº 24: 8374, 2021.

JEZEIE, Fereshteh Vaezi; SADJADI, Seyed Jafar; MAKUI, Ahmad Mirjalili. Constrained Portfolio Optimization with Discrete Variables: An Algorithmic Method Based on Dynamic Programming. **PloS One**, 17: e0271811, 2022.

JONAS, Daniel. Empowering Project Portfolio Managers: How Management Involvement Impacts Project Portfolio Management Performance. **International Journal of Project Management**, 28; nº 8: 818-831, 2010.

JUGEND, D.; FIGUEIREDO, J. Integrating environmental sustainability and project portfolio management: Case study in an energy firm. **Gestão & Produção**, 24: 526-537, 2017.

JUKUNEN, Antti. Decision-making in Product Portfolios of Pharmaceutical Research and Development - Managing Streams of Innovation in Highly Regulated Markets. Drug Design; **Development and Therapy**, 8: 2009-2016, 2017.

KADOIĆ, Nikola; DIVJAK, Blaženka; BEGIČEVIĆ REĐEP, Nina. Integrating the DEMATEL with the Analytic Network Process for Effective Decision-making. **Central European Journal of Operations Research**, 27: 653-978, 2019.

KAUFMANN, Carsten; KOCK, Alexander; GEMÜNDEN, Hans Georg. Emerging Strategy Recognition in Agile Portfolios. **International Journal of Project Management**, 38: 429-440, 2020.

KERZNER, H. **Gestão de projetos: as melhores práticas**. Porto Alegre: Bookman; 2006.

KILLEN, Catherine P.; GERALDI, Joana; KOCK, Alexander. The Role of Decision Makers' Use of Visualizations in Project Portfolio Decision Making. **International Journal of Project Management**, 38: 267-277, 2020.

KILLEN, Catherine P.; JUGDEV, Kam; DROUIN, Nathalie; PETIT, Yvan. Advancing Project and Portfolio Management Research: Applying Strategic Management Theorie. **International Journal of Project Management**, 30; nº 5: 525-538, 2012.

KIM, Doyoung. Capital Budgeting for New Projects: On the Role of Auditing in Information Acquisition. **Journal of Accounting & Economics**, 41; nº 3: 257-270, 2006.

KIM, Jae-Seung; KIM, Sang-Ho; LEE, Ki-Hoon. Portfolio Management Framework for Autonomous Stock Selection and Allocation. **IEEE Access**, 10: 133815-133827, 2010.

KNASTER, Richard; LEFFINGWELL, Dean. **SAFe 5.0 Distilled: Achieving Business Agility with the Scaled Agile Framework**. Addison-Wesley, 2020.

KOCK, Alexander; SCHULZ, Babette; KOPMAN, Julian; GEMÜDEN, Hans Georg. Project Portfolio Management Information Systems' Positive Influence on Performance – the Importance of Process Maturity. **International Journal of Project Management**, 38.4: 229-241, 2020.

KOCK, Alexander; GEMÜNDEN, Hans Georg. How Entrepreneurial Orientation Can Leverage Innovation Project Portfolio Management. **R & D Management**, 51: 40-56, 2021.

KOWALSKI, Michał J.; KAZAK, Jan K. Value-Based Management for Real Estate Developers' Activities. **Real Estate Management and Valuation**, 28: 48-62, 2020.

LARSON, Erik W. **Project Management**: The Managerial Process. New York, NY: McGraw-Hill, 2018.

LI, Hong-Quan; YI, Zhi-Hong; FANG, Yong. Portfolio Selection under Uncertainty by the Ordered Modular Average Operator. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, 18; nº 1: 1-14, 2019.

LI, Xiaocheng; Zhong, Huaiyang; Brandeau, Margaret L. Quantile Markov Decision Processes. **Operations Research**, 70: 1428-1447, 2022.

LIMA JUNIOR, João da Rocha; MONETTI, Eliane; DE ALENCAR, Claudio Tavares. **Real Estate**: Fundamentos para análise de investimentos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

LIMA, C.J.; SILVA, M.M. Aplicando os valores de Shapley com técnicas de aprendizado de máquina na análise de investimentos no mercado imobiliário. **LV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. São José dos Campos, SP, 2023.

LOPES, Raphael de Oliveira Albergarias et al. **IPMA Brasil Referencial de competências**. Rio de Janeiro, RJ: IPMA Brasil, 2012.

MAIER, Sebastian. Re-evaluating Natural Resource Investments under Uncertainty: An Alternative to Limited Traditional Approaches. **Annals of Operations Research**, 299: 907-937, 2021.

MAJI, Giridhar et al. Stock Prediction and Mutual Fund Portfolio Management Using Curve Fitting Techniques. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, 12: 9521-9534, 2021.

MARKOWITZ, Harry. Portfolio Selection. **The Journal of Finance**, 77–91, 1952.

MARTIN, James N. Extending UAF for Model-Based Capability Planning and Enterprise Portfolio Management. **INCOSE International Symposium**, 32: 15-35, 2022.

MENGISTU, Frew; VAN DIJK, Meine Pieter. Credibility of Institutions in Addis Ababa (Ethiopia), Effects of Government Policies on Real Estate Developers. **Land Use Policy**, 79: 913-921, 2018.

MESKENDAHL, Sascha. The influence of business strategy on project portfolio management and its success — A conceptual framework. **International Journal of Project Management**, 28; nº 8: 807-817, 2010.

MOHAGHEGHI, Vahid; MOUSAVI, Seyed Meysam; ANTUCHEVIČIENĖ, Jurgita; MOJTAHEDI, Mohammad. Project Portfolio selection problems: a review of models; uncertainty approaches; solution techniques; and case studies. **Technological and Economic Development of Economy**, 25; nº 6: 1380-1412, 2019.

MONCECCHI, Matteo; MENEGHELLO, Stefano; MERLO, Marco. A Game Theoretic Approach for Energy Sharing in the Italian Renewable Energy Communities. **Applied Sciences**, 10: 8166, 2020.

MORELLI, Giacomo. Responsible Investing and Portfolio Selection: A Shapley - CVaR Approach. **Annals of Operations Research**, 2023.

MRENDINO, Alessandro et al. Big Data, Big Decisions: The Impact of Big Data on Board Level Decision-making. **Journal of Business Research**, 93; nº 67-78: 67-78, 2018

MÜLLER, Ralf; MARTINSUO, Miia; BLOMQUIST, Tomas. Project Portfolio Control and Portfolio Management Performance in Different Contexts. **Project Management Journal**, 39; nº 3: 28-42, 2008.

MUSTONEN, Erno; SEPPÄNEN, Jonne; TOLONEN, Arto; HARKONEN, Janne; HAAPASALO, Harri. Product Portfolio Management Strategic Targets and Kpis over Life-Cycle: A Case Study in Telecommunications Business. **Managing Global Transitions**, 18: 5-23, 2020.

NASH, John F. Jr. The bargaining problem. **Econometrica**, 18:155–162, 1950.

NASTA, Luigi; PIROLO, Luca; DI FABIO, Adriano. The Impact of Exogenous Shocks on Business Models and Business Relationships: An Empirical Analysis of the Italian Music Industry. **Journal of Business Models**, 11, 2023.

NEDĚLA, David; ORTOBELLI, Sergio; TICHÝ, Tomáš. Mean–variance vs Trend–risk Portfolio Selection. **Review of Managerial Science**, 2023.

NETO, Fábio Burin; JUGEND, Daniel; BARBALHO, Sanderson César MACEDO; DA SILVA, Sérgio Luis. Gestão De Portfólio De Produtos: Práticas Adotadas Por Uma Empresa de Base Tecnológica de Médio Porte Localizada na Cidade de São Carlos - SP. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, 8; nº 1 (2013): 67.

NETZ, Joakim; SVENSSON, Martin; BRUNDIN, Ethel. Business Disruptions and Affective Reactions: A Strategy-as-practice Perspective on Fast Strategic Decision Making. **Long Range Planning**, 53: 101910, 2020.

NIKOLAENKO, Valentin; SIDOROV, Anatoly. Assessment of Project Management Maturity Models Strengths and Weaknesses. **Journal of Risk and Financial Management**, 16: 1-19, 2023.

NIU, Yanfang; YING, Limeng; YANG, Jie; BAO, Mengqi; SIVAPARTHIPAN, C.B. Organizational Business Intelligence and Decision Making Using Big Data Analytics. **Information Processing & Management**, 58: 102725, 2021.

OLOKE, O.C.; ODETUNMBI, O.A.; AKINWUMI, S.A. An Examination of the Level of Engagement of Modern Portfolio Techniques for Portfolio Management by Real Estate Firms in Lagos State, Nigeria. IOP Conference Series. **Earth and Environmental Science**, 993: 12005, 2022.

OOSTUIZEN, Chiara; GROBBELAAR, Sara S; BAM, Wouter G. Project Portfolio Management Best Practice and Implementation: A South African Perspective. **International Journal of Innovation and Technology Management**, 15.4: 1850036, 2018.

ORLANDI, Tomas Roberto; DANTAS, Fernando Santos; NETO, João Souza. The use of portfolio management for strategic alignment – a survey with Brazilian companies. **Journal of Information Systems and Technology Management**, 2020.

PADOVANI, M.; MASCAT, A.R.N.; CAMANHO, R.; CARVALHO, M.M. Looking for the right criteria to define projects portfolio: multiple case study analysis. **Product Management and Development**, 6: 127-134, 2008.

PARK, Dongmyung; HAN, Ji; CHILDS, Peter R. N. A Data-Driven Fuzzy Front-End Model for Contextual Performance and Concurrent Collaboration. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 70; nº 2: 1-24, 2021.

PASHLEY, Daniel; TRYFONAS, Theo; CROSSLEY, Andy; SETCHELL, Chris; KARATZAS, Stylianos. Innovation Portfolio Management for Small-medium Enterprises. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, 29: 507-524, 2020.

PÄTÄRI, Eero; KARELL, Ville; LUUKKA, Pasi; YEOMANS, Julian S. Comparison of the Multicriteria Decision-making Methods for Equity Portfolio Selection: The U.S. Evidence. **European Journal of Operational Research**, 265: 655-672, 2018.

PLATJE, Adri; SEIDEL, Harald; WADMAN, Sipke. Project and Portfolio Planning Cycle: Project-based Management for the Multiproject Challenge. **International Journal of Project Management**, 12; nº 2: 100-106, 1994.

PMI and PwC Global. PMO Success in Latin America: Enabling Success through **Project Management Strategy and Talent**. PMI, 2022.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **The Standard for Portfolio Management**. Pennsylvania, USA: Project Management Institute, 2017.

ROBIN, Enora. Performing Real Estate Value(s): Real Estate Developers; Systems of Expertise and the Production of Space. **Geoforum**, 134: 2015-215, 2022.

RÖTH, Tobias; SPIETH, Patrick; LANGE, Donald. Managerial Political Behavior in Innovation Portfolio Management: A Sensegiving and Sensebreaking Process. **The Journal of Product Innovation Management**, 36.5: 534-559, 2019.

SANAEI, Shabnam; STUART, Paul R. Systematic Assessment of Triticale-based Biorefinery Strategies: Techno-economic Analysis to Identify Investment Opportunities. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, 12: 46-59, 2018.

SARI, Rita; SULISTIYANI, Endang; MEUTIA, Nur Shabrina. Prioritization Model for IT Project Portfolio Management in Private University: A Literature Review. **Journal of Information Systems and Informatics**, 5 (2023): 1-14.

SCHIEMER VARGAS, Katiuscia De Fátima; DE MOURA, Gilnei Luiz; BUENO, Daiane De Fátima dos Santos; PAIM, Eliane Suely Everling. A Cadeia de Valores e as Cinco Forças Competitivas como Metodologia de Planejamento Estratégico. **REBRAE**, 6; nº 1: 11, 2013.

SCHIFFELS, Sebastian; FLIEDNER, Thomas; KOLISCH, Rainer. Human Behavior in Project Portfolio Selection: Insights from an Experimental Study. **Decision Sciences**, 49 (2018): 1061-1087.

SHAKHSI-NIAI, M.; TORABI, S.A.; Iranmanesh, S.H. A comprehensive framework for project selection problem under uncertainty and real-world constraints. **Computers & Industrial Engineering**, 61; nº 1: 226-237, 2011.

SHALIT, Haim. The Shapley Value Decomposition of Optimal Portfolios. **Annals of Finance**, 17: 1-25, 2021.

SHALIT, Haim. The Shapley Value of Regression Portfolios. **Journal of Asset Management**, 21: 506-512, 2020.

SHAPLEY, Lloyed S. A value for n-person games. **The Rand Corporation**, 307-317, 1953.

SHENHAR, Aaron J.; DVIR, Dov; LEVY, Ofer; MALTZ, Alan C. Project Success: A Multidimensional Strategic Concept. **Elsevier Science Direct Journals**, 34; nº 6: 699-725, 2001.

SI, Haijian; KAVADIAS, Stylianos; LOCH, Christoph. Managing Innovation Portfolios: From Project Selection to Portfolio Design. **Production and Operations Management**, 31: 4572-4588, 2022.

SÖDERLUND, Jonas. On the broadening scope of the research on projects: a review. **International Journal of Project Management**, 22; nº 8: 655-667, 2004.

SOLTANALI, Hamzeh; KHOJASTEHPOUR, Mehdi; KHEYBARI, Siamak. Evaluating the Critical Success Factors for Maintenance Management in Agro-industries Using Multi-criteria Decision-making Techniques. **Operations Management Research**, 16 (2023): 949-968.

SONG, Bomi; SEOL, Hyeonju; PARK, Yongtae. A patent portfolio-based approach for assessing potential R&D partners: An application of the Shapley value. **Technological Forecasting & Social Change**, 103: 156-165, 2016.

SPECKING, Eric; PARNELL, Gregory S.; POHL, Edward. Comparing INCOSE and PMI Portfolio Management Practices. **INCOSE International Symposium**, 30: 561-573, 2020.

STEPHENSON, P.J. The Holy Grail of Biodiversity Conservation Management: Monitoring Impact in Projects and Project Portfolios. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 172: 182-192, 2019.

STETTINA, Christoph Johann; HÖRZ, Jeannette. Agile portfolio management: An empirical perspective on the practice in use. **International Journal of Project Management**, 33; nº 1: 140-152, 2014.

STOILOV, Todor; STOILOVA, Krasimira; VLADIMIROV, Miroslav. Decision Support for Portfolio Management by Information System with Black–Litterman Model. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, 21: 634-664, 2022.

STRAUCH, Maximilian; PIDUN, Ulrich; ZU KNYPHAUSEN-AUFSEß, Dodo. Process Matters – How Strategic Decision-making Process Characteristics Impact Capital Allocation Efficiency. **Long Range Planning**, 52: 202-220, 2019.

SYU, Jia-Hao; WU, Mu-En; HO, Jan-Ming. Portfolio Management System with Reinforcement Learning. **IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**, 2020: 4146-4151, 2020.

TAVANA, Madjid; KHALILI-DAMGHANI, Kaveh; ABTAHI, Amir-Reza. A Fuzzy Multidimensional Multiple-choice Knapsack Model for Project Portfolio Selection Using an Evolutionary Algorithm. **Annals of Operations Research**, 206; nº 1: 449-483, 2013.

TESLIA, Iurii; et al**.** Development of the Concept of Building a Corporate Standard of Portfolio Management in the Course of Territory Restoration Planning in the Context of Making-City Project. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, 124: 6-18, 2023.

TITARENKO, Boris; HASNAOUI, Amir; TITARENKO, Roman; Ilin, Liliya; BUZUK, I.; KALININA, O. Robust Data Analysis in Innovation Project Portfolio Management. **MATEC Web of Conferences**, 170: 1017, 2018.

TRIGEORGIS, Lenos; TSEKREKOS, Andrianos E. Real Options in Operations Research: A Review. **European Journal of Operational Research**, 270: 1-24, 2018.

VAEZI, Fereshteh; SADJADI, Seyed Jafar; MAKUI, Ahmad Zhao Jichang. A Portfolio Selection Model Based on the Knapsack Problem under Uncertainty. **PloS One**, nº 5: 14, 2019.

VILLAFÁÑEZ, Félix; POZA, David; LÓPEZ-PAREDES, Adolfo; PAJARES, Javier; OLMO, Ricardo del. A Generic Heuristic for Multi-project Scheduling Problems with Global and Local Resource Constraints (RCMPSP). **Soft Computing**, 23: 3465-3479, 2019.

VILLAFÁÑEZ, Félix; POZA, David; LÓPEZ-PAREDES, Adolfo; PAJARES, Javier; ACEBES, Fernando. Portfolio Scheduling: An Integrative Approach of Limited Resources and Project Prioritization. **Journal of Project Management**, 5: 103-116, 2020.

WANG, Can; BRABENEC, Tomas; GAO, Peng; TANG, Ziyu. The Business Strategy, Competitive Advantage and Financial Strategy: A Perspective from Corporate Maturity Mismatched Investment. **Journal of Competitiveness**, 13: 164-181, 2021.

WEINREICH, Simon; ĐSAHIN, Tar¸k; KARIG, Marco; VIETOR, Thomas. Methodology for Managing Disruptive Innovation by Value-oriented Portfolio Planning. **Journal of Open Innovation**, 8: 1-22, 2022.

WESTERVELD, Peter; FIELT, Erwin; DESOUZA, Kevin C.; GABLE, Guy G. The Business Model Portfolio as a Strategic Tool for Value Creation and Business Performance. **Journal of Strategic Information Systems**, 32 (2023): 101758.

WINSTON, Wayne L.; GOLDBERG, Jeffrey B. **Operations Research Applications and Algorithms.** California: Thomson Brooks-Cole; 2004.

YANG, Chih-Hao; HSU, Wei; WU, Yong-Lin. A Hybrid Multiple-criteria Decision Portfolio with the Resource Constraints Model of a Smart Healthcare Management System for Public Medical Centers. **Socio-economic Planning Sciences**, 80: 101073, 2022.

YI, Liqi; LI, Tao; ZHANG, Ting. Optimal Investment Selection of Regional Integrated Energy System under Multiple Strategic Objectives Portfolio. **Energy** (Oxford), 119409, 2021.

YU, Jiayang; CHANG, Kuo-Chu. Neural Network Predictive Modeling on Dynamic Portfolio Management: A Simulation-based Portfolio Optimization Approach. **Journal of Risk and Financial Management**, 13: 1-23.

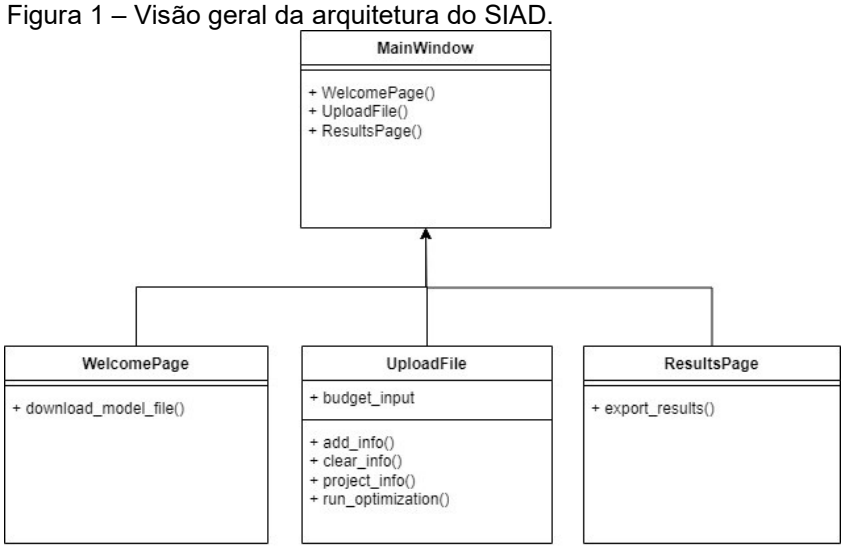
ZHAO, Long; CHAKRABARTI, Deepayan; MUTHURAMAN, Kuma. Portfolio Construction by Mitigating Error Amplification: The Bounded-Noise Portfolio. **Operations Research**, 965-983, 2019.

APÊNDICE A – ARQUITETURA DO PRODUTO TECNOLÓGICO

O produto tecnológico de otimização de portfólio que utiliza as abordagens de valores de Shapley com o problema da mochila foi desenvolvido em linguagem de programação Python, com interface gráfica e camada de negócios, mas sem a persistência dos dados. Todo o sistema de informação de apoio à decisão foi desenvolvido utilizando um ambiente de desenvolvimento denominado Visual Studio Code, versão 1.83.1. A linguagem de programação adotada foi Python na versão 3.10.8, fazendo uso de uma interface gráfica desenvolvida com a biblioteca PyQt6, versão 6.5.1. A biblioteca Pandas, versão 1.5.1, é utilizada para manipular e processar os dados do modelo de planilha, bem como para o carregamento dos dados externos do arquivo em planilha em uma estrutura de dados interna.

A arquitetura se apresenta em estruturas de códigos separadas, com o intuito de garantir a organização e manutenção do código, buscando facilitar extensões e atualizações futuras, se demandadas. Este anexo descreve os componentes da arquitetura e os funcionamentos principais. A figura 1 apresenta a arquitetura do modelo, que consiste em uma página principal com a responsabilidade de exibição das demais páginas e três páginas de navegação, cada uma com suas funcionalidades.

Figura 1 – Visão geral da arquitetura do SIAD.



Fonte: O Autor (2023)

O Quadro 1 traz um descritivo das classes denominadas de componentes, sendo importante ressaltar que temos um componente principal e três componentes

contidos no componente principal, o que permite a navegação das funcionalidades em páginas numa estrutura com janelas empilhadas. Nessa estrutura, a visualização de apenas uma janela por vez é permitida, ou seja, há apenas a exibição da janela ativa pela interação do usuário. O Quadro 1 também traz uma breve descrição do propósito de cada um dos componentes existentes, o que permite a visão geral do SIAD.

Quadro 1 - Componentes das Classe

Componentes	Descrição
MainWindow	Ponto central da interface gráfica sendo responsável por gerenciar e exibir o layout e controlar a navegação entre as páginas do produto tecnológico.
WelcomePage	Esta é página inicial quando o aplicativo é aberto, exibindo uma mensagem de boas-vindas e instruções ao usuário. Nela é possível baixar o modelo para ser utilizado no SIAD.
UploadPage	Corresponde a segunda página, onde o usuário pode carregar o arquivo com informações do projeto, informar o limite orçamentário para o portfólio e realizar a chamada para realização da otimização.
ResultsPage	Esta é a última página do SIAD onde são exibidos os resultados da otimização, com duas listas uma com os projetos a serem priorizados e a outro com aqueles que não devem ser. É possível também exportar os resultados nesta página.

Fonte: O Autor (2023)

O Quadro 2 abriga os nomes das funções utilizadas, e a respectiva descrição da responsabilidade da função, desta forma é possível compreender como cada função se comporta e o que proporciona para o SIAD e o usuário.

Quadro 2 - Descrição das funções

Funções	Descrição
download_model_file()	Permite que o usuário, ao clicar no botão, baixe o modelo que pode ser utilizado na otimização após preenchimento.

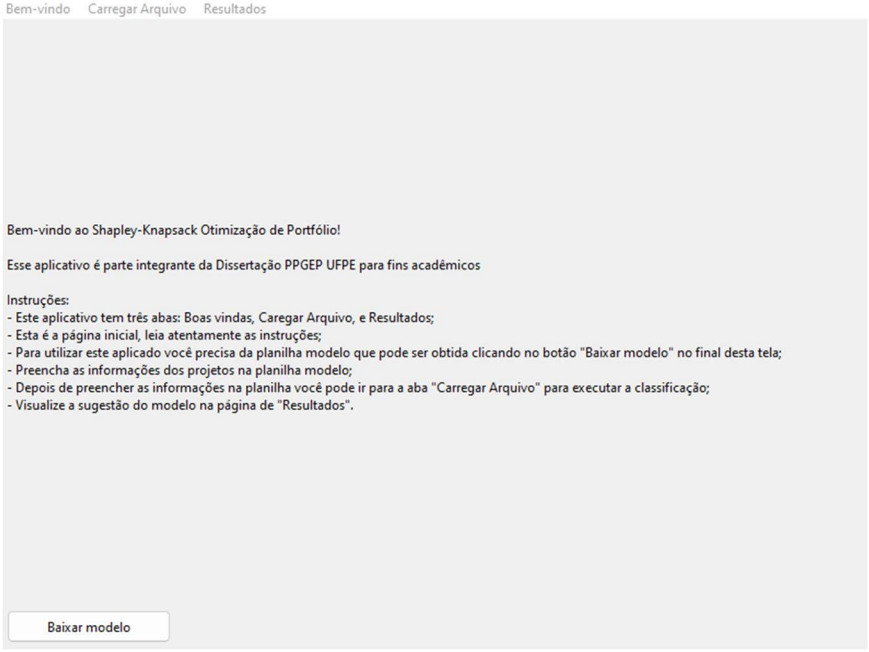
upload_file()	Realizar o carregamento do arquivo abrindo uma caixa de seleção, e fazendo o armazenamento dos dados de forma não persistente.
add_info()	Quando é confirmada as informações de orçamento, e o arquivo com as informações é carregado exibe em tela.
clear_info()	Remove as informações sobre o orçamento e projetos, redefinindo ao estado inicial.
run_optimization()	Executa a chamada para aplicar os valores de Shapley e em seguida o problema da mochila com base nos dados dos projetos e orçamento informado.
export_results()	Permite que haja a exportação para um arquivo com os resultados dos projetos que devem ser selecionados ou não.

Fonte: O Autor (2023)

A descrição dos componentes de classe e das funções permite uma visão dos itens que fazem parte da arquitetura do produto tecnológico. Desta forma, mesmo que não haja a visualização do código-fonte existente, é possível compreender o funcionamento do SIAD. Importante observar que não há a persistência dos dados. Desta forma, tão logo o SIAD for encerrado, os dados da análise serão perdidos.

Com o descritivo das funcionalidades principais definidas no produto tecnológico, será apresentada neste momento a interface gráfica e os componentes existentes em cada uma das telas. Num contexto inicial, o usuário, ao executar o produto tecnológico, é levado a uma tela inicial conforme Figura 2, onde o usuário possui uma descrição sobre o SIAD e orientações sobre as funcionalidades disponíveis e de como utilizar o produto tecnológico. Nesta tela há um botão que permite salvar o modelo em formato de arquivo .csv, onde os dados podem ser inseridos e utilizados posteriormente. Destaca-se que o sistema está estritamente desenvolvido para utilizar o modelo deste arquivo como dados de entrada, não sendo garantida a correta funcionalidade em caso de utilização de estrutura de dados de entrada que difere do modelo.

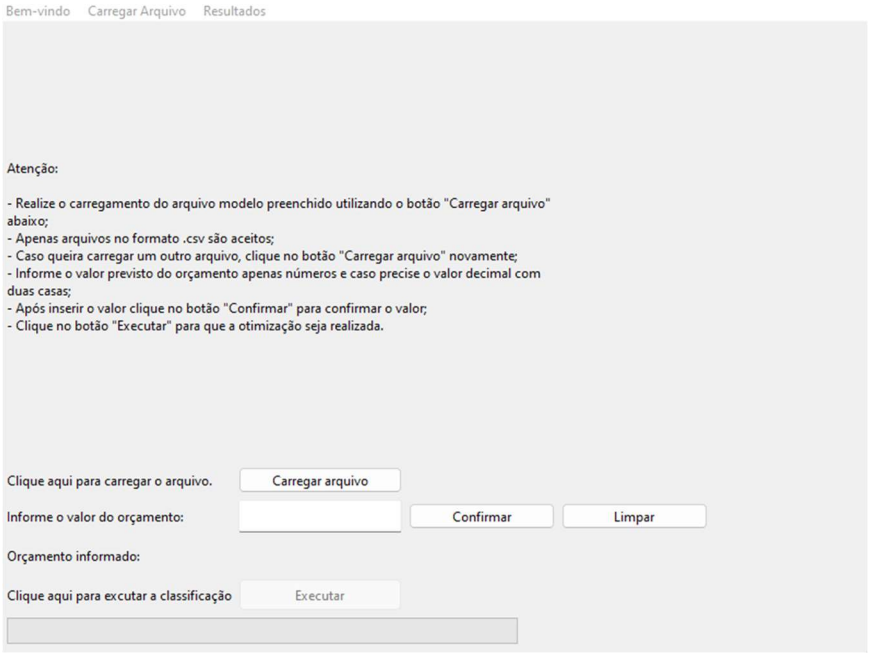
Figura 2 – Tela inicial do SIAD



Fonte: O Autor (2023).

Nesta tela inicial é possível navegar para outras duas telas de acordo com a barra de menu superior, sendo elas sobre o carregamento do arquivo e de exibição dos resultados descritas posteriormente. É possível também retornar a essa tela inicial a qualquer tempo, utilizando o menu superior.

Figura 3 – Tela de carregamento do arquivo com informações dos projetos

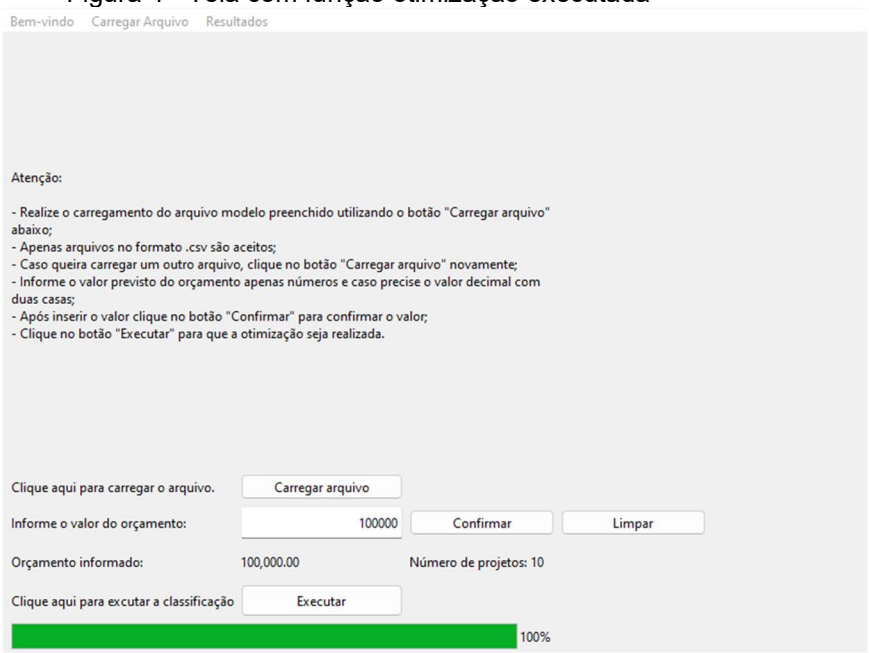


Fonte: O Autor (2023).

A Figura 3 refere-se à tela de carregamento do arquivo que contém os dados relativos aos projetos a serem analisados. A tela de carregamento apresenta instruções para utilização, seguidas por um botão que abre uma janela para a escolha do arquivo a ser carregado. Além disso, nessa tela, há um botão de confirmação do valor do orçamento após o preenchimento do campo, e um botão que limpa todas as informações já carregadas. Destaca-se que o SIAD da forma em que foi desenvolvido é indispensável ao funcionamento correto a utilização do modelo, e que o carregamento de arquivos com campos contendo informações diferentes do modelo de arquivo proposto irão conduzir a erros no sistema e nos resultados. No campo orçamento, apenas a entrada numérica é necessária, sem a necessidade de divisão com ponto ou vírgulas para separação das centenas.

Após o carregamento do arquivo com os dados dos projetos, conforme o modelo, e a inserção e confirmação do valor do orçamento, é que o botão "Executar" será habilitado. Quando o botão "Executar" é pressionado, ocorre a chamada da função de otimização, que utiliza ambas as técnicas da pesquisa operacional. Para informar ao usuário sobre a execução do processo, uma barra de progresso é exibida, demonstrando a ação em andamento até sua conclusão. O preenchimento total da barra é representado em verde, juntamente com um percentual ao lado, conforme mostrado na Figura 4.

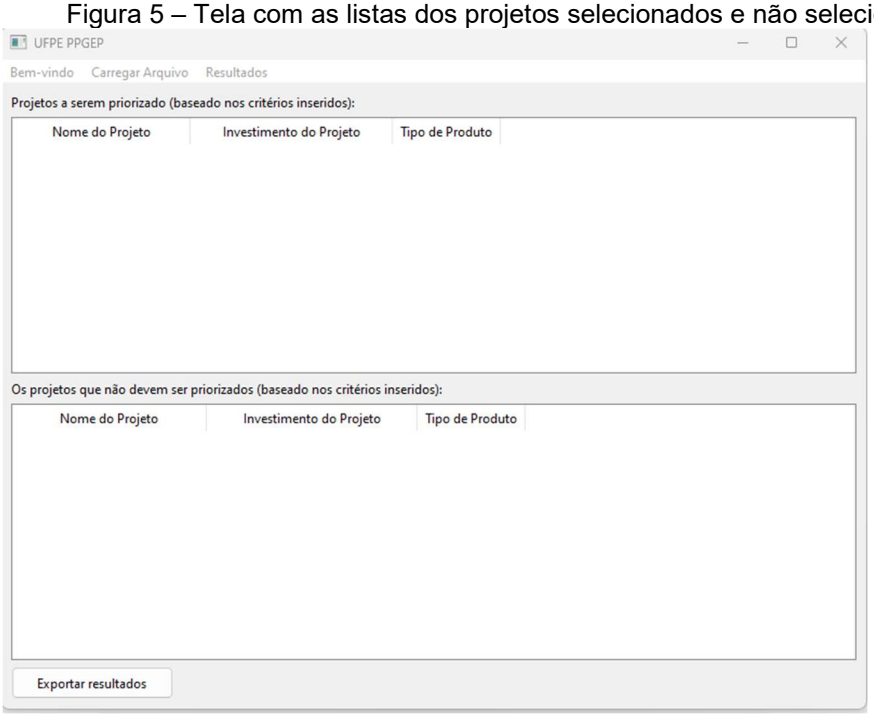
Figura 4 - Tela com função otimização executada



Fonte: O Autor (2023).

Após executar a otimização, o usuário pode visualizar a sugestão do SIAD na página de resultados. A página de resultados realiza a exibição de duas listas: uma contendo os projetos a serem selecionados e outra não selecionados, de acordo com os critérios de entrada e conforme as recomendações após otimização. As informações que constam dos projetos são nome, valor de investimento do projeto e o tipo de produto que representam. É possível exportar os dados do resultado da otimização para um arquivo formato .csv. Isso é possível através do botão "Exportar resultados" localizado na tela de resultados, e as informações contidas no arquivo são as mesmas que as exibidas em tela e descritas anteriormente. A Figura 5 apresenta a tela com as duas listas: uma contendo os projetos recomendados para a composição de portfólio de projetos e os projetos que não devem ser selecionados, além disso, o botão de "Exportar arquivo".

Figura 5 – Tela com as listas dos projetos selecionados e não selecionados.



Fonte: O Autor (2023).

A apresentação das telas e das funcionalidades descritas neste apêndice colaboram com o entendimento do produto tecnológico. Ao fornecer uma visão da interface do usuário e o fluxo de execução das funções há a contribuição para a compreensão do funcionamento do SIAD.