

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

Hévilla Souza Oliveira

MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy
Universidade Federal de Pernambuco. Cx Postal: 95, CEP: 55.002-970, Caruaru-PE, Brasil
hevilla.oliveira@ufpe.br

Jônatas Araújo de Almeida

MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy
Universidade Federal de Pernambuco. Cx Postal: 95, CEP: 55.002-970, Caruaru-PE, Brasil
jonatasaa@yahoo.com.br

RESUMO

O processo de seleção do portfólio de projetos é um fator crítico para o atingimento das estratégias organizacionais e agregação de valor aos *stakeholders*. As interdependências entre os projetos impactam no desempenho dos resultados, os riscos e o sucesso do portfólio. Além disso, por se tratar de uma atividade complexa, métodos multicritério podem contribuir para dar suporte a esse tipo de problema. Nessa conjuntura, esse estudo tem como objetivo propor um modelo multicritério e aplicá-lo para selecionar o melhor conjunto de projetos que possuem interações, usando um modelo matemático de programação linear inteira para a solução de um estudo de caso da literatura. Para esse fim, foi utilizado como base o problema da mochila adaptado e o modelo aditivo para a formulação do modelo, onde os resultados alcançados apontam que o método é adequado para a seleção de portfólio de projetos com interações.

PALAVRAS-CHAVE. Seleção de portfólio. Interações entre projetos. MCDA.

Tópicos ADM – Apoio à Decisão Multicritério e AO – Outras aplicações em PO.

ABSTRACT

The project portfolio selection process is a critical factor in achieving organizational strategies and adding value to stakeholders. The interdependencies between projects impact the performance of results, risks, and the success of the portfolio. Furthermore, as it is a complex activity, multicriteria methods can help to support this type of problem. At this juncture, this study aims to propose a multicriteria model and apply it to select the best set of projects that have interactions, using a mathematical model of integer linear programming to solve a case study in the literature. For this purpose, the adapted knapsack problem and the additive model were used as a basis for the formulation of the model, where the results achieved show that the method is suitable for selecting a portfolio of projects with interactions.

KEYWORDS. Portfolio selection. Interactions between projects. MCDA.

Paper topics ADM – Support for Multicriteria Decision and OA – Other PO applications.

1. Introdução

Dado a globalização, aumento das exigências dos consumidores e entrada de novos concorrentes no mercado, é preciso medidas para as empresas atingirem os seus objetivos e agregarem valor aos seus *stakeholders*. Em cenários econômicos com forte competitividade, o processo de seleção do portfólio de projetos é um dos elementos cruciais da estratégia gerencial um empreendimento [LIU e LIU 2017]. De acordo com [Ghassemi e Amalnick 2018], uma das partes importantes do gerenciamento da estratégia das empresas é a seleção dos projetos certos. Seguindo essa linha de raciocínio, além de buscar realizar os projetos de maneira adequada, as instituições devem incorporar uma visão estratégica de longo prazo para escolher os projetos mais apropriados [ELONEN e ARTTO 2003; JONAS et al. 2013]

A seleção de portfólio de projetos configura-se como a escolha de alguns projetos dentre um conjunto disponível e a alocação de recursos organizacionais limitados, como o orçamento, pessoas, equipamentos, dentre outros [SHAKHSI-NIAEI et al. 2015]. A complexidade dessa tarefa pode estar relacionada com as influências dos fatores ambientais da empresa, as incertezas das informações, condições de mercado imprevisíveis e a sinergia entre os projetos. Em relação a esse último, [Killen 2013] descreve a importância de as empresas conhecerem as dependências dos projetos, para que assim a decisão da seleção aumente o desempenho dos resultados do portfólio.

Ademais, [Patanakul e Milosevic 2009] defendem que os gestores devem focar suas atenções na sinergia entre projetos para melhorar o sucesso do portfólio em si ao invés de maximizar o êxito dos projetos individuais. Caso o gerenciamento dessas interdependências seja elaborado de maneira incorreta, isso pode ocasionar desperdício de recursos e do orçamento da empresa, atrasos no nível do portfólio e aumentar a competição de recursos entre os projetos [BATHALLATH et al. 2016].

[Hernandez-Perdomo et al. 2017] afirmam que tarefas de classificação, análise e seleção de vários projetos, que afetam os objetivos estratégicos das organizações, são atividades difíceis para os gerentes. Alguns autores como [Vetschera e Almeida 2012], defendem que a seleção de portfólio possui natureza multidimensional e dessa forma métodos *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) podem contribuir para dar suporte a esse tipo de problema. Portanto, torna-se importante a definição de metodologias estruturadas e eficientes que auxiliem as empresas a determinarem os seus portfólios de forma a refletir e contribuir para as suas estratégias de longo prazo.

Nesse cenário, esse artigo tem como objetivo propor um modelo multicritério de seleção de portfólio de projetos e aplicá-lo para selecionar o melhor conjunto de projetos disponíveis para compor o portfólio, sendo usado um estudo de caso da literatura. Nesse trabalho são consideradas as potenciais interações entre os projetos e é utilizado um modelo matemático de programação linear inteira binária para a solução do problema.

A estrutura desse artigo é composta por seis seções. A Seção 2 refere-se aos conceitos teóricos sobre a seleção de portfólio de projetos e são expostos artigos que incorporam sinergias entre os projetos. A Seção 3 contempla a explicação da estrutura metodológica empregada no estudo e as suas formulações matemáticas, seguido pela aplicação do método proposto em um caso adaptado da literatura (Seção 4). Os principais resultados alcançados são discutidos na Seção 5 e o estudo é finalizado na Seção 6 com as conclusões finais, contribuições e sugestões de trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

2.1 Seleção de portfólio de projetos

O portfólio de projetos é o canal para a implantação da estratégia de uma instituição [UNGER et al. 2012]. Um portfólio é composto por projetos, programas e operações agrupadas de forma a facilitar o gerenciamento do trabalho e alcançar as metas estratégicas da organização, sendo que um dos principais objetivos do gerenciamento do portfólio é a seleção da combinação ideal desses componentes [PMI 2017]. Em relação ao gerenciamento de portfólio de projetos,

[Blichfeldt e Eskerod 2008] definem que esse está relacionado com atividades como identificação, seleção e priorização dos projetos candidatos, a alocação ou até mesmo realocação dos recursos de acordo com as prioridades gerenciais, dentre outras tarefas.

A seleção de portfólio de projetos é a atividade da escolha dos projetos disponíveis que irão compor o portfólio, sendo que esse processo deve respeitar as restrições e os recursos organizacionais disponíveis [TAVANA et al. 2015]. Corroborando com a temática, [Vetschera e Almeida 2021] descrevem que a questão principal não seria selecionar os melhores projetos do conjunto, o aspecto chave seria a escolha da melhor combinação dos projetos.

Um projeto tem como características principal ser único. Segundo o [PMI 2017], pode ser definido como um esforço temporário criado para gerar um resultado único, proporcionando assim mudanças organizacionais. Os projetos são realizados para a elaboração e o comércio de novos itens/serviços, bem como mudanças de operações e atingimento dos objetivos estratégicos das empresas [VOSS e KOCK 2013].

Quanto a definição de um problema de decisão multicritério, [Almeida 2013] descreve que é uma tomada de decisão onde existe mais de uma opção de alternativa para se escolher e múltiplos objetivos que buscasse atender. Ainda segundo o autor, existe na literatura diversos métodos desenvolvidos para resolver esse tipo de problema, dentre eles métodos de critério único de síntese, de sobreclassificação e interativos.

Em relação a definição do conceito de dependência entre os projetos, [Killen e Kjaer 2012] descrevem que se pode dizer que dois projetos são interdependentes quando o sucesso de um depende do sucesso do outro projeto. De acordo com [Iniestra e Gutiérrez 2009], essas relações geram contribuição na função objetivo de problemas de otimização multiobjetivos quando os projetos que possuem sinergias são escolhidos para compor o portfólio.

Segundo [Girotra et al. 2007], o valor de um projeto não depende apenas das suas próprias características, mas também das propriedades de outros projetos da empresa, dado que está relacionado com as interações entre os projetos do portfólio da organização. Quanto ao valor do portfólio, de acordo com [Wei et al. 2020], as interações entre projetos além de influenciar esse aspecto, também impactam nos riscos do portfólio.

Visto a importância da consideração de interdependências entre os projetos, a seguir são apresentados artigos que propõem a seleção de portfólios incorporando essa questão.

2.2 Aplicações com interação entre projetos

Alguns estudos na literatura abordam interações entre projetos na definição do portfólio. [Neumeier et al. 2018] desenvolveram uma aplicação por meio da modelagem de uma rede Bayesiana, incorporando a criticidade e dependência para a seleção de projetos de Tecnologia da Informação (TI). Ainda na área de TI, [Ghapanchi et al. 2012] aplicaram a *Data Envelopment Analysis* (DEA) para a selecionar o portfólio mais adequado em um cenário *fuzzy* que também considerava as incertezas dos projetos. [Liu e Liu 2017] desenvolveram uma abordagem de otimização paramétrica credibilística e demonstraram o método em um exemplo numérico em um centro de comércio eletrônico.

Outro artigo que aplicou DEA foi o estudo de [Tavana et al. 2015], que busca selecionar em um ambiente *fuzzy* o portfólio mais adequado empregando um método de três etapas que integra a DEA, *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e *Integer Programming* (IP). Cita-se também [Jafarzadeh et al. 2018], que aplicaram um método híbrido composto pela *Quality Function Development* (QFD) e DEA para incorporar priorização, incerteza e interdependências na avaliação de portfólios de uma empresa de telecomunicações.

Alguns artigos preferiram empregar abordagens multicritério, como em [Wu et al. 2018], que utilizaram uma abordagem combinada *fuzzy* do método multicritério não compensatório PROMETHEE II e programação multiobjetivo para o caso de projetos fotovoltaicos em uma província da China. [Lopes e Almeida 2015] auxiliaram na seleção de projetos em fase de desenvolvimento para uma indústria de petróleo por meio das preferências dos decisores, utilizando a *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT).

Além de abordar um contexto multicritério, [Almeida e Duarte 2011] desenvolveram um modelo que incorpora uma função aditiva para determinar o portfólio de uma companhia de energia elétrica, no qual a decisão foi efetuada por meio de um problema de otimização inteira não linear. [Albano et al. 2021] também elaboraram um modelo não linear, mais precisamente de programação inteira mista, e testaram o modelo em projetos com interações em empresas do Canadá e do Brasil.

Quanto a programação multiobjetivo, [Bhattacharyya et al. 2011] propõem um modelo *fuzzy* de maximização de resultados, minimização dos custos e dos riscos para um setor de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), no qual a empresa recebe propostas de projetos das áreas de civil, mecânica e elétrica. [Alvarez-García e Fernández-Castro 2018] empregaram um modelo multiobjetivo *fuzzy*, mais precisamente um modelo de ponto de referência, que considera a opinião dos decisores para a avaliação de projetos de investimentos de mineração de carvão.

3. Descrição do modelo

Esse artigo propõe a seleção de portfólio de projetos com interações por meio da formulação de um problema multiobjetivo resolvido através de um modelo de programação linear inteira binária. Um modelo que busca a determinação da inclusão ou não de um projeto pode ser formulado como um problema da mochila [EILON 1987]. Esse problema clássico da literatura envolve a seleção de itens (os projetos) a serem alocados em uma mochila, onde no exemplo em questão estamos tratando de um portfólio. Considere um conjunto N composto por n projetos disponíveis. Estabeleça y_i como variáveis inteiras binárias que representam a escolha do projeto i para fazer parte do portfólio, conforme demonstrado abaixo.

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se o projeto } i \text{ é escolhido} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Definindo o retorno esperado $v(p_i)$ e um consumo de recurso c_i para o projeto i , bem como recurso limitante b , o modelo matemático é apresentado na Equação 1.

Equação 1 - Modelo matemático do problema da mochila

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^n v(p_i) y_i \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n c_i y_i < b \end{aligned}$$

Fonte: Adaptado de Arenales et al. (2011)

Também propomos a utilização de um ambiente multicritério para a seleção dos projetos, dessa forma a função objetivo do nosso estudo incorpora uma agregação dos desempenhos dos projetos nos critérios importantes escolhidos pelo decisor. Seja M um conjunto composto pelos critérios que avaliarão os projetos, são determinados constantes de escalas (k_z) para a determinação da função valor dos projetos e $v_z(p_{iz})$ é o valor do projeto i no critério z . Essa formulação é demonstrada na Equação 2 abaixo.

Equação 2 - Função valor

$$\begin{aligned} v(p_i) &= \sum_{z=1}^m k_z * v_z(p_{iz}) \\ \sum_{z=1}^m k_z &= 1 \end{aligned}$$

Fonte: Adaptado de Keeney e Raiffa (1976)

Substituindo o retorno esperado do projeto pela Equação 2 no problema da mochila, a função objetivo é mostrada na Equação 3.

Equação 3 - Formulação da função objetivo

$$\max \sum_{z=1}^m \sum_{i=1}^n k_z v_z(p_{iz}) y_i$$

Fonte: Autores

Outra questão nesse estudo é a incorporação de sinergias entre os projetos. Tais interações consideram uma variação na função objetivo, podendo aumentar ou reduzir o seu valor, a depender da interação, quando dois projetos são selecionados. Considerar as interações levaria a uma não linearidade da função objetivo, conforme visto na Equação 4.

Equação 4 - Formulação da função objetivo não linear

$$\max \sum_{z=1}^m \sum_{i=1}^n k_z v_z(p_{iz}) y_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n s_{ij} y_i y_j$$

Fonte: Autores

Onde s_{ij} é o efeito na função objetivo advindo da interação entre os projetos i e j . De maneira similar, as interações podem levar a não linearidade nas equações que representam o lado direito das restrições do problema.

Para linearizar o problema, possibilitando o uso da programação linear binária, foi considerado o conjunto S de interações descrito na Equação 5.

Equação 5 – Definição do conjunto de interações entre projetos

$$S = \{x_{ij} \mid i, j \in N, s_{ij} \neq 0\}$$

Fonte: Autores

Os elementos em S são considerados como variáveis contingentes x_{ij} , pois dependem se ambos os projetos i e j , que possuem sinergias, são selecionados para o portfólio.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o projeto } i \text{ e } j \text{ são escolhidos para o portfólio} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Para considerá-las no modelo, são adicionadas as restrições de interdependência entre os projetos, como mostrado na Equação 6 abaixo.

Equação 6 - Relação de dependência entre os projetos

$$y_i + y_j - 2x_{ij} \geq 0$$

$$y_i + y_j - x_{ij} \leq 1$$

Fonte: Autores

Além disso, é adicionado na função objetivo do problema a contribuição s_{ij} dessas interdependências dos projetos e na restrição de recursos limitantes, onde d_{ij} representa o consumo do recurso das variáveis x_{ij} . A Equação 7 apresenta o modelo matemático desse estudo.

Equação 7 - Modelo de programação linear para seleção do portfólio de projetos

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^n v(p_i) y_i + \sum_{x_{ij} \in S} s_{ij} x_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n c_i y_i + \sum_{i=1}^n d_{ij} x_{ij} < b \\ & y_i + y_j - 2x_{ij} \geq 0 \quad \forall x_{ij} \in S \\ & y_i + y_j - x_{ij} \leq 1 \quad \forall x_{ij} \in S \end{aligned}$$

Fonte: Autores

Onde s_{ij} é determinado conforme a Equação 8

Equação 8 - Função valor das interdependências dos projetos

$$s_{ij} = \sum_{z=1}^m k_z * v_z(s_{ijz})$$

Fonte: Autores

Onde s_{ijz} é o efeito da interação entre os projetos i e j no critério z . Tratando-se de modelos multicritério aplicados à problemática de portfólio, é necessária atenção à problemas de escala, conforme apresentado por [De Almeida et al. 2014] e [Almeida e Vetschera 2012], a escala dos parâmetros utilizados nos modelos multicritério podem não corresponder ao significado relacionado aos parâmetros assumidos nos modelos de programação linear, o que pode interferir no valor dos portfólios.

Para o caso do modelo aditivo, utilizado neste estudo, [De Almeida et al. 2014] afirmam que o uso da escala intervalar nas avaliações intracritério é bastante comum nos processos de elicitação de constantes de escala, porém é inadequado para o problema de portfólio. Para problemas de portfólio, os autores sugerem o uso da escala de razão, no entanto, as constantes de escala obtidas por procedimentos que consideraram a escala intervalar na elicitação devem ser adaptadas, conforme a Equação 9.

Equação 9 - Adaptação das constantes de escala para problemas de portfólio com modelo aditivo

$$q_z = \frac{k_z p_z^{max} / (p_z^{max} - p_z^{min})}{\sum_{l=1}^m k_l p_l^{max} / (p_l^{max} - p_l^{min})}$$

Fonte: Adaptado de De Almeida et al. (2014)

4. Aplicação do modelo

Para a aplicação do modelo em questão, foram considerados dados adaptados da seleção de portfólio de projetos de TI do estudo [Ghapanchi, et al. 2012]. Ressalta-se que segundo o problema, a empresa dispõe de \$ 600 milhões e como o somatório de todos os projetos é bastante superior a esse montante, deve haver a seleção de apenas alguns projetos. A Tabela 1 exhibe os dados do problema, onde por simplificação foram utilizados os valores centrais dos números *fuzzy* do artigo original. A primeira coluna apresenta os custos do projeto, sendo esses usados como restrição para o problema. As outras colunas são compostas por dados normalizados em uma escala de razão demonstrada em [Almeida 2013], que serão utilizadas para determinar a função valor dos projetos.

Quanto as interações, [Ghapanchi, et al. 2012] também determinaram as contribuições entre os projetos nos mesmos parâmetros da Tabela 1. Logo, a Tabela 2 expõe os valores centrais caso os dois projetos em questão sejam escolhidos para compor o portfólio, onde as interações de custo são usadas na restrição desse recurso e os demais dados (também normalizados em uma escala de razão) são incorporados na função objetivo.

Quanto as constantes de escala, como o artigo original não previu esses parâmetros, definiu-se os valores arbitrariamente. Esses dados são demonstrados na Tabela 3. Além disso, o modelo de programação linear inteira binária foi implementado por meio do suplemento Solver do Excel. A seguir são apresentados os resultados alcançados nesse estudo nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 1 - Dados do problema de seleção de portfólio

Projeto	Custo do projeto	Nº investimentos subsequentes	Contribuição para o fluxo de trabalho	Contribuição para a prontidão eletrônica	Probabilidade de sucesso
1	435	1,0000	0,8737	0,5111	0,5862
2	178	0,5682	0,1616	0,1000	1,0000
3	242	0,2121	0,7475	0,4556	0,8753
4	323	0,6818	0,7071	1,0000	0,5849
5	189	0,5682	0,5556	0,8333	0,7493
6	93	0,5303	0,1717	0,5222	0,4708
7	370	0,9848	1,0000	0,4889	0,3462
8	271	0,3258	0,4545	0,4111	0,3382
9	154	0,4545	0,4545	0,3000	0,9111
10	281	0,3939	0,7980	0,4556	0,7586
11	362	0,1818	0,1818	0,6444	0,3064
12	222	0,0455	0,2020	0,6556	0,0663
13	391	0,0606	0,3434	0,4000	0,3316
14	474	0,0682	0,4747	0,1444	0,4297
15	390	0,0606	0,2222	0,5667	0,3515
16	391	0,0833	0,1818	0,6000	0,3647

Fonte: Adaptado de Ghapanchi, et al. (2012)

Tabela 2 - Valores das interações entre os projetos

Interações	Custo do projeto	Nº de potenciais investimentos subsequentes	Contribuição para o fluxo de trabalho	Contribuição para a prontidão eletrônica	Probabilidade de sucesso
1 e 3	0	0	0,4444	0	0
1 e 10	-28,4	0,0322	0	0	0
2 e 7	-12,5	0	0	0	0,1472
3 e 4	0	0,0076	0	0	0
4 e 5	-21	0	0	0,0967	0
4 e 6	0	0	0	0,1178	0
5 e 6	0	0,0152	0	0,1522	0
5 e 9	0	0	0	0,1522	0
6 e 7	-16,8	0	0	0	0,2215
6 e 8	-4,2	0	0	0	0,1009
7 e 8	-13,3	0,0152	0,1515	0,0989	0,2573
7 e 10	0	0	0,1515	0	0
9 e 10	-17,4	0	0	0	0

Fonte: Adaptado de Ghapanchi, et al. (2012)

Tabela 3 - Valores das constantes de escala

Crítérios	Nº investimentos subsequentes	Contribuição para o fluxo de trabalho	Contribuição para a prontidão eletrônica	Probabilidade de sucesso
Constantes de escala	0,2	0,25	0,2	0,35

Fonte: Autores

Tabela 4 - Valor da função objetivo

Função objetivo	1,9221
------------------------	--------

Fonte: Autores

Tabela 5 - Resultados na seleção dos projetos

Projeto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Variáveis	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Função valor	0	0	0,6268	0	0,6815	0	0	0	0,5830	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autores

Tabela 6 - Interações selecionadas na otimização

Interações	1 e 3	1 e 10	2 e 7	3 e 4	4 e 5	4 e 6	5 e 6	5 e 9	6 e 7	6 e 8	7 e 8	7 e 10	9 e 10
Variáveis	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Função valor	0	0	0	0	0	0	0	0,0304	0	0	0	0	0

Fonte: Autores

Dessa forma, o portfólio ótimo é composto pelos projetos 3, 5 e 9.

5. Resultados e discussões

O resultado do modelo matemático de programação linear inteira binária demonstrou que a combinação dos projetos 3 (0,6268), 5 (0,6815) e 9 (0,5830), entre os dezesseis projetos de TI disponíveis, é o melhor conjunto para compor o portfólio da organização. Outro ponto a ser observado é que o portfólio de projetos encontrado como o ótimo foi o mesmo determinado como mais eficiente pela aplicação do DEA *fuzzy* do artigo original de [Ghapanchi, et al. 2012]. A indicação de uma validação de resultado, no entanto, deve ser evitada, uma vez que no estudo original não há declaração dos pesos.

Existiam nesse problema diversos tipos de interações entre os projetos, sendo que essas também foram otimizadas pelo modelo proposto. Nesse subconjunto selecionado, os projetos 5 e 9 possuem uma interação em relação ao critério Contribuição para a prontidão eletrônica, onde pode-se perceber na Tabela 6 que a contribuição dessa sinergia foi incorporada no modelo com contribuição na função objetivo de 0,0304.

Caso o gestor considerasse apenas a escolha dos melhores projetos, ou seja, o maior valor da função valor sem analisar o conjunto ideal, o primeiro projeto escolhido seria o 1 com resultado 0,7258. Porém o seu custo é bastante elevado, sendo esse de \$ 435 milhões de dólares e sobrando assim apenas 165 desse recurso limitante. Com o resto do valor disponível, os projetos que poderiam ser escolhidos só seriam o 6 (consome \$ 93 milhões) ou o 9 (\$154 milhões), com resultados respectivos de 0,4182 e 0,5834.

Dessa forma o valor máximo do portfólio, sendo que não existe nenhuma interação entre nenhum desses projetos, seria de 1,144 para o portfólio com os projetos 1 e 6 (destaca-se que nesse

existiria \$72 milhões de recursos financeiros ociosos) e de 1,3092 para os projetos 1 e 9. Porém como visto na Tabela 4, esse não seria o valor ótimo e o resultado encontrado no portfólio ótimo desse estudo é superior em ambos esses casos, respectivamente existe um ganho percentual de 40% e 32%.

6. Conclusão

Visto a importância da determinação do portfólio para a competitividade das empresas, esse artigo teve como objetivo desenvolver modelo multicritério para a seleção de portfólio de projetos com interações entre eles, bem como realizar uma aplicação de um estudo de caso da literatura para a demonstração do procedimento para a seleção do melhor conjunto de projetos usando um modelo de programação linear inteira binária.

Para esse fim, esse trabalho explorou conceitos sobre portfólio, projetos, sinergia entre eles e métodos multicritérios, no qual também foram abordados alguns estudos científicos que realizam aplicações nesse âmbito de pesquisa. Quanto ao modelo proposto nesse estudo, foi tomado como base o problema da mochila e o modelo aditivo determinístico para a formulação do modelo matemático, onde também foram incorporadas restrições de interdependência entre os projetos, a contribuição dessas sinergias na restrição de recursos limitantes e na função objetivo.

Em relação a aplicação, foram utilizados dados adaptados da literatura, sendo esse composto por 16 projetos. Além disso, utilizou-se quatro critérios para a determinação da função valor dos projetos e os dados dos custos dos projetos foram usados como uma restrição visto que a empresa possuía o orçamento máximo de \$600 milhões.

Os resultados encontrados sugerem que o portfólio ideal para a empresa é composto pelos projetos 3, 5 e 9, sendo que existe uma interação em um critério entre esses dois últimos projetos. Também foi percebido a importância de não se considerar apenas os desempenhos dos projetos individualmente, mas sim a combinação entre eles, pois os resultados como otimização da utilização de recursos limitantes e valor final resultante podem ser superiores.

Logo, pode-se constatar que o estudo alcançou os objetivos pretendidos e foi visto a importância de trabalhos que propõem metodologias estruturadas que considera multicritérios e interações entre os projetos para apoiar os gestores das empresas na determinação da seleção de portfólio de projetos. Para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação desse modelo em outros casos práticos e outros contextos multicritérios como da Teoria da Utilidade Multiatributo.

7. Agradecimentos

Esse trabalho foi parcialmente apoiado pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e pela FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco).

Referências

ALBANO, T. C. L. et al. (2021). Proposal and Solution of a Mixed-Integer Nonlinear Optimization Model That Incorporates Future Preparedness for Project Portfolio Selection. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68: 1014-1026.

ALMEIDA, A. T., DUARTE, M. D. (2011). A multi-criteria decision model for selecting project portfolio with consideration being given to a new concept for synergies. *Pesquisa Operacional*, 31: 301-318.

ALMEIDA, A. T.; VETSCHERA, R. (2012). A note on scale transformations in the PROMETHEE V method. *European Journal of Operational Research*, 219: 198-200.

ALMEIDA, A. T. (2013). Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério. Atlas, São Paulo.

ALVAREZ-GARCÍA, B., FERNÁNDEZ-CASTRO, A. S. (2018). A comprehensive approach for the selection of a portfolio of interdependent projects. An application to subsidized projects in Spain. *Computers & Industrial Engineering*, 118: 153-159.

ARENALES, M. et al. (2011). Pesquisa Operacional. Elsevier, Rio de Janeiro.

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

BHATTACHARYYA, R. et al. (2011). Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. *Computers & Mathematics with Applications*, 62: 3857-3870.

BLICHFELDT, B. S., ESKEROD, P. (2008). Project portfolio management – There's more to it than what management enacts. *International Journal of Project Management*, 26: 357-365.

DE ALMEIDA, A. T. et al. (2014). Scaling Issues in Additive Multicriteria Portfolio Analysis. In: Dargam, F; Hernández, J. E; Zaraté, P; Liu, S; Ribeiro, R; Delibašić, B; Papathanasiou, J.. (Org.). *Lecture Notes in Business Information Processing*: Springer International Publishing, 131-140.

EILON, S. (1987). Application of the Knapsack model for budgeting. *OMEGA International Journal of Management Science*, 15: 489-494.

ELONEN, S., ARTTO, K. A. (2003). Problems in managing internal development projects in multi-project environments. *International Journal of Project Management*, 21: 395-402.

GHAPANCHI, A. H. et al. (2012). A methodology for selecting portfolios of projects with interactions and under uncertainty. *International Journal of Project Management*, 30: 791-803.

GHASSEMI, A., AMALNICK, M. S. (2018). NPD project portfolio selection using reinvestment strategy in competitive environment. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9: 47-62.

GIROTRA, K. et al. (2007). Valuing R&D projects in a portfolio: Evidence from the pharmaceutical industry. *Management Science*, 53: 1452-1466.

HERNANDEZ-PERDOMO, E. A. et al. (2017). Active management in state-owned energy companies: Integrating a real options approach into multicriteria analysis to make companies sustainable. *Applied Energy*, 195: 487-502.

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

JAFARZADEH, H. et al. (2018). A methodology for project portfolio selection under criteria prioritisation, uncertainty and projects interdependency – combination of fuzzy QFD and DEA. *Expert Systems with Applications*, 110: 237-249.

- JONAS, A. et al. (2013). Predicting Project Portfolio Success by Measuring Management Quality—A Longitudinal Study. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60: 215-226.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H (1995). Decision analysis with multiple conflicting objectives, preferences and value trade-off. IIASA Working Paper, Laxenburg, Austria.
- KILLEN, C. P., KJAER, C. (2012). Understanding project interdependencies: The role of visual representation, culture and process. *International Journal of Project Management*, 30: 554-566.
- KILLEN, C. P. (2013). Evaluation of project interdependency visualizations through decision scenario experimentation. *International Journal of Project Management*, 31: 805-816.
- LIU, Y., LIU, Y. K. (2017). Distributionally robust fuzzy project portfolio optimization problem with interactive returns. *Applied Soft Computing*, 56: 655-668.
- LOPES, Y. G., ALMEIDA, A. T. (2015). Assessment of synergies for selecting a project portfolio in the petroleum industry based on a multi-attribute utility function. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 126: 131-140.
- NEUMEIER, A. et al. (2018). Modeling project criticality in IT project portfolios. *International Journal of Project Management*, 36: 833-844.
- PATANAKUL, P., MILOSEVIC, D. (2009). The effectiveness in managing a group of multiple projects: Factors of influence and measurement criteria. *International Journal of Project Management*, 27: 216-233.
- PMI (2017). Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK). 6. Ed. Project Management Institute, Newtown Square.
- SHAKHSI-NIAEI, M. et al. (2015). Application of genetic and differential evolution algorithms on selecting portfolios of projects with consideration of interactions and budgetary segmentation. *International Journal of Operational Research*, 22: 106-128.
- TAVANA, M. et al. (2015). A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis, TOPSIS and Integer Programming. *Expert Systems with Applications*, 42: 8432-8444.
- UNGER B. N. et al (2012). Enforcing strategic fit of project portfolios by project termination: An empirical study on senior management involvement. *International Journal of Project Management*, 30: 675-685.
- VETSCHERA, R.; ALMEIDA, A. T. (2012). A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Computers & Operations Research*, 39: 1010-1020.
- VETSCHERA, R., ALMEIDA, J. A. (2021). Bounds in tree-based approaches to generate project portfolios in the presence of interactions. *International Journal of Decision Support System Technology*.
- VOSS, M., KOCK, A. (2013). Impact of relationship value on project portfolio success — Investigating the moderating effects of portfolio characteristics and external turbulence. *International Journal of Project Management*, 31: 847-861.

WEI, H. et al. (2020). A refined selection method for project portfolio optimization considering project interactions, *Expert Systems with Applications*, 142: 112952.

WU, Y. et al. (2018). An intuitionistic fuzzy multi-criteria framework for large-scale rooftop PV project portfolio selection: Case study in Zhejiang, China. *Energy*, 143: 295-309.