LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL EM LINGUAGEM R DO MÉTODO CRITÉRIO DE MARKOWITZ

Luana de Azevedo de Oliveira
Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, Boa Viagem – Niterói – RJ
luazevedo@id.uff.br

Marcos dos Santos
Instituto Militar de Engenharia - IME
Praça Gen. Tibúrcio, nº 80, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro – RJ
marcosdossantos@ime.eb.br

Carlos Francisco Simões Gomes
Universidade Federal Fluminense - UFF
Rua Passo da Pátria 156, Boa Viagem – Niterói – RJ
cfsg1@bol.com.br

Enderson Luiz Pereira Júnior
Universidade Federal Fluminense - UFF
Rua Passo da Pátria 156, Boa Viagem – Niterói – RJ
endersonlpj@id.uff.br

Emerson Hissao Kojima
Ruralplan – Ruralplan
Cerejeiras - RO
emerson.h.kojima@ruralplan.com.br

RESUMO

Este estudo propõe uma ferramenta computacional online com um framework interativo e de fácil acesso desenvolvida na linguagem R, que permite a resolução de problemas de apoio à tomada de decisão por meio do método Critério de Markowitz. Além disso, a solução de um problema da literatura para a seleção de uma aeronave em ambiente offshore também foi reproduzida, demonstrando a sua aplicabilidade à problemas reais da indústria. A ferramenta desenvolvida mostrou ser uma alternativa viável para possibilitar o acesso de pessoas com pouco conhecimento em computação e na matemática. Este estudo contribui para a pesquisa científica na área de Pesquisa Operacional e oferece perspectivas de aplicação em diversos contextos, como o mercado financeiro e a indústria, beneficiando a sociedade como um todo.

PALAVRAS-CHAVE. Média-Variância, Shinny, Logística.

2. ADM – Apoio à Decisão Multicritério, 12. L&T Logística e Transportes

ABSTRACT

This study presents an online computational tool with an interactive and user-friendly framework developed in the R language, aimed at solving decision support problems using the Markowitz Criterion method. Additionally, the solution to a literature problem for the selection of an aircraft in an offshore environment was reproduced, demonstrating its applicability to real industry problems. The developed tool proved to be a viable alternative to facilitate access for individuals with limited knowledge in computing and mathematics. This study contributes to scientific research in the field of Operational Research and provides perspectives for application in various contexts, such as the financial market and industry, benefiting society as a whole.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

KEYWORDS. Media-Variance, Shinny, Logistic

2. ADM – Multicriteria Decision Support, 12. L&T Logistics and Transport

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

1. Introdução

O desenvolvimento de estratégias de investimento constitui um desafio no âmbito financeiro e que pode ser replicado também para outras áreas. Neste contexto, a Teoria do Portfólio de Harry Markowitz surge como um marco, introduzindo o conceito de diversificação para minimizar riscos enquanto se maximiza o retorno esperado. Assim, por meio da formulação de um modelo de média-variância, Markowitz propôs uma abordagem quantitativa para a seleção de portfólios, fundamentando a moderna teoria de finanças. Porém, essa teoria não ficou restrita somente à área financeira, ou seja, ela foi aplicada em outras áreas do conhecimento, como a da Pesquisa Operacional (PO).

Assim, paralelamente, a PO evoluiu como um campo interdisciplinar dedicado à aplicação de métodos analíticos avançados para apoiar na tomada de decisões e outras práticas de gestão [Costa 2022], [Drumond 2022]. Dessa forma, abrangendo áreas como otimização, simulação, teoria da decisão, cenários prospectivos, análise de redes, apoio multicritério à decisão, dentre outras, a PO oferece ferramentas essenciais para resolver problemas complexos em diversos setores, incluindo finanças, logística, saúde e defesa [Dos Santos 2015].

Nesse sentido, dentro das várias áreas da PO, o Apoio Multicritério à Decisão (AMD) destaca-se por permitir a avaliação de alternativas em face de múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes [Júnior 2023], [Moreira 2022]. Esta abordagem é particularmente relevante no contexto financeiro, onde decisões de investimento devem considerar diversos fatores, como retorno, risco, liquidez e horizonte temporal. Assim, o AMD fornece um conjunto de métodos para integrar estas diversas dimensões, facilitando uma tomada de decisão mais informada e alinhada aos objetivos do tomador de decisão.

Nesse contexto, os métodos de análise de decisão multicritério (AMD) têm ganhado destaque como ferramentas para auxiliar na tomada de decisão abordando diversos setores como logística, saúde, defesa, finanças, agronomia, dentre outras, representando uma contribuição importante tanto para o campo acadêmico quanto para a sociedade e o mercado financeiro.

Neste cenário, o desenvolvimento de aplicações que incorporam tais teorias e métodos é de grande valor. A linguagem R, conhecida por sua versatilidade e diversidade de bibliotecas de pacotes estatísticos, apresenta-se como uma ferramenta poderosa para a implementação de soluções com apoio da tecnologia da informação. Assim, a criação de uma aplicação em R dedicada ao Método de Markowitz oferece uma plataforma prática e acessível para a seleção de ativos, unindo a solidez teórica da Teoria do Portfólio de Markowitz com as capacidades analíticas avançadas da PO e do AMD.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma aplicação em Linguagem R para o Método Critério de Markowitz, incorporando uma abordagem de AMD.

2. Análise Bibliométrica

Para elucidar a importância desse estudo foi realizada uma Análise Bibliométrica utilizando a base de dados Scopus por meio da String de busca, na data 03 de março de 2024: TITLE (*"criterion markovitz"* OR *"markovitz mean variance*" OR "*selection portfolio theory*" OR *"portfolio theory"*).

A análise da Tabela 1 foi conduzida por meio do software BiblioMagika® proposto por Ahmi [2023], o qual processou os dados da base Scopus em métricas, possuindo um total de 414 publicações e 6.555 citações ao longo de 55 anos. Adicionalmente, as métricas revelam uma média de 119,18 citações por ano, com cada artigo recebendo em média 15,83 citações, enquanto cada autor recebe cerca de 6,41 citações e contribui, em média, com 2,47 artigos. O fator-h de 38 e o fator-g de 68 refletem o impacto e a produtividade das publicações. Esses resultados ressaltam a importância do tema estudado para a comunidade acadêmica e a sociedade.

Tabela 1 – Informações Principais

Informações Principais	**Dados**
Total de Publicações	414

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

Anos	55
Número de artigos citados	339
Total de citações	6.555
Citações por Artigo	15,83
Citações por ano	119,18
Citações por autor	6,41
Autor por artigo	2,47
h-index	38
g-index	68

Fonte: Scopus via Bibliomagika® (2024)

Adicionalmente a Tabela 2 demonstra a distribuição dos artigos dos dez países mais produtivos, com maior frequência de publicações no tema de estudo. O Estados Unidos lidera o topo com 142 publicações (TP), 3385 citações indicando um impacto significativo na pesquisa científica. Em segundo lugar está a China, com um total de publicações (TP) de 47 documentos e um total de citações de 446. Além disso, a presença de países como o Reino Unido, Alemanha, Canadá entre outros, demosntram uma colaboração internacional significativa. Por fim, o Brasil apresenta um número menor de publicações e citações em comparação com os líderes globais, EUA e China, figurando o oitavo lugar entre os 10 países mais produtivos. No entanto, contribui para o cenário da pesquisa científica global como um ator importante na comunidade científica internacional. Essa contribuição é fundamental para o desenvolvimento e aprimoramento contínuo das pesquisas, promovendo a colaboração e a troca de conhecimentos entre os diferentes países.

Tabela 2 – TOP 10: Distribuição dos artigos por país

País	**TP**	**TC**
Estados Unidos	142	3385
China	47	446
Reino Unido	36	975
Alemanha	26	439
Canadá	20	311
Austrália	20	295
Itália	19	408
Brasil	16	132
França	14	441
Espanha	11	224

Fonte: Scopus via Bibliomagika® (2024).
Notas: TP=número total de publicações; TC=total de citações

3. Critério de Markowitz

Por meio de seu modelo de média variabilidade, Markowitz estabeleceu uma abordagem quantitativa para a seleção de portfólios, lançando as bases para a teoria moderna das finanças. Segundo Menezes [2001], embora uma dimensão de variabilidade tenha sido adicionada a este critério, sua ambiguidade torna a noção de variância mais adequada para estimar o risco.
De acordo com Markowitz [1952], cada estratégia é caracterizada pela esperança matemática, que representa o rendimento, e pelo desvio padrão, que representa o risco. Portanto, uma pessoa avessa ao risco desejará maximizar a esperança de ganho e minimizar o risco [Menezes, 2001]. Além disso, utilizando esses dois indicadores, é possível comparar duas estratégias diferentes, seguindo as condições das equações abaixo.

Grau de risco desconhecido:

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

$$\sigma^{\frac{2}{x}} = \sum_{i=1}^{n} p_{i(x_i - E(\bar{X}))^2} \quad (1)$$

$$a_k \succ a_1 \; se \; \frac{E(a_k)}{\sigma(a_k)} > \frac{E(a_1)}{\sigma(a_1)} \quad (2)$$

Grau de risco conhecido:

$$a_k \succ a_1 \; se \; \{[E(a_k) - E(a_1)]\}/[\sigma(a_k) - \sigma(a_1)]\} > \lambda \quad (3)$$

A preferência por uma ação é então determinada a partir de uma arbitragem entre a esperança matemática e o desvio padrão, onde o valor de Lambda (λ) expressa o grau de aversão pelo risco. Uma avaliação empírica do critério de Markowitz considera duas situações, uma em que o grau de risco (λ) é desconhecido e outra em que é conhecido [Jokung-Nguéna 2001].

4. Metodologia

Segundo Júnior et al. [2023] o conceito de Metodologia vem da definição de "Método" (*em grego methodos*), que diz que é o "caminho para chegar a um fim ou para se atingir um objetivo". Sendo assim, a metodologia abordada neste estudo é quantitativa. Porque se enquadra na abordagem quantitativa por meio da aplicação do método Critério de Markowitz em uma plataforma web computacional. Sendo a metodologia apresentada na Figura 1.

Para desenvolver uma aplicação em linguagem R do método Critério de Markowitz, foram empregados os pacotes "*shiny*" e "*shinydashboard*". Essa ferramenta foi elaborada com o intuito de simplificar a análise de decisões multicritério, oferecendo aos usuários a possibilidade de carregar os dados desejados e calcular o Critério de Markowitz. Além disso, ela permite a visualização interativa dos resultados, tornando o processo mais acessível e intuitivo.

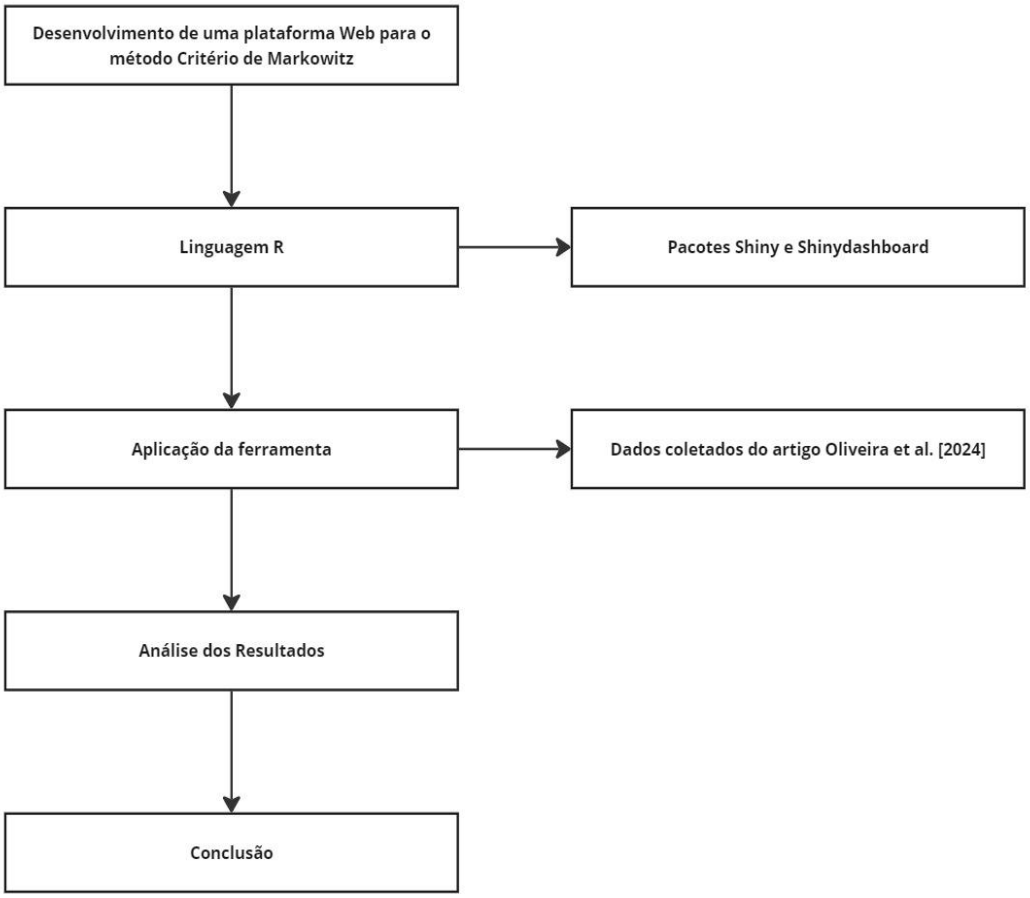
A aplicação foi submetida a testes práticos usando uma matriz de decisão e os pesos obtidos pelo método "*Preference Selection Index" (PSI)* abordado no artigo publicado na IEEE, intitulado "*Application of the PSI-CoCoSo Method for the Selection of an Aircraft for Aeromedical Rescue in an Offshore Company*" [De Oliveira et al. 2024].

5. A ferramenta Critério de Markowitz

A ferramenta proposta foi desenvolvida por meio da linguagem R, com a utilização do pacote Shiny. O pacote Shiny é um sistema para desenvolvimento de aplicativos web interativos em R. Sua principal vantagem reside em permitir que os usuários criem aplicativos web sem a necessidade de conhecimento avançado em HTML, CSS ou JavaScript. O aplicativo está atualmente hospedado na nuvem do Shiny usando o Shinyapps.io, permitindo que os usuários acessem e interajam com a ferramenta online, por meio de um navegador da web, facilitando seu compartilhamento e acessibilidade. O aplicativo pode ser acessado por meio do endereço: https://apoioatomadadedecisao.shinyapps.io/CriteriondeMarkovitz/.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

Figura 1 - Framework de desenvolvimento da aplicação Web do método Critério de Markowitz.



Fonte: Autores [2024]

6. Aplicação da ferramenta

Para demonstrar a aplicação da ferramenta desenvolvida na linguagem R foi aplicado um problema abordado por Oliveira et al. [2024] publicado na IEE Computer Society conforme explicado na seção 4. Os dados utilizados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Matriz de decisão

Alternativas/Critérios		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
Peso		0,174	0,160	0,139	0,170	0,178	0,179
BRISTOW	AW139	12	6800	4899	270	449	10,9
BRISTOW	S-92 A	19	5307	8252	143	458	8,3
BRISTOW	S-76C++	12	5307	3712	143	297	6,86
OMNI	AW139	15	6800	4635	140	573	10,9
OMNI	S-76C++	12	5306	3675	140	411	6,86

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

OMNI	S-92 A	19	12020	8365	151	539	8,3

Fonte: Oliveira et al. [2024]
Notas: C1= Quantidade de assentos, C2= Peso Máximo de decolagem (KG), C3= Peso Básico Operacional (KG), C4= Velocidade de cruzeiro (KT), C5= Raio de alcance (MN), C6= Razão de subida (m/s)

Com isto, para acessar a página em Web e inserir os dados da Tabela 1 é necessário seguir as condições dos passos 1 a 4, descritos abaixo.

1) Para iniciar, é necessário clicar na aba “Cálculos” e, em seguida, no botão “Baixar Exemplo” (Figura 2). Isso fará o download de uma planilha em Excel denominada “exemplo_input” para o preenchimento dos dados (Figura 3).

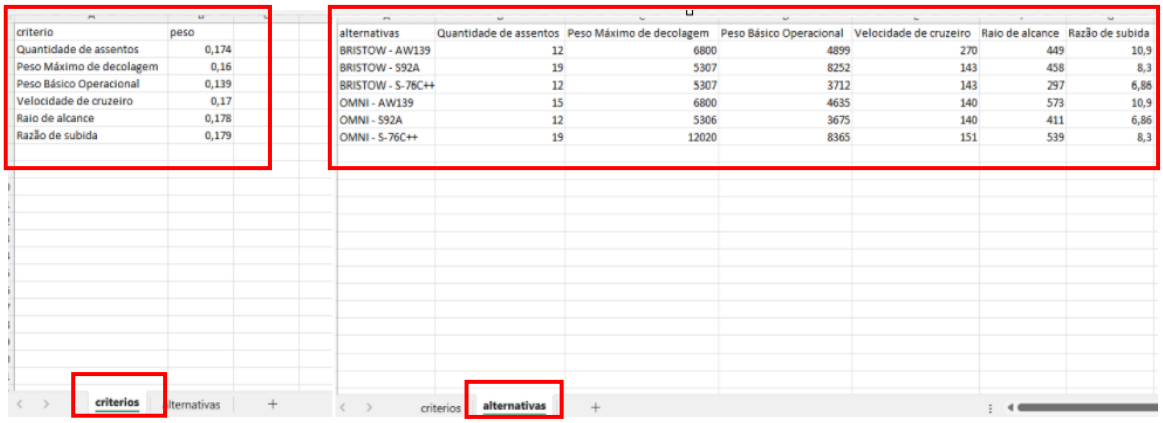
Figura 2 – A ferramenta Critério de Markowitz



Fonte: Ferramenta Critério de Markowitz [2024]

2) Em seguida, deve-se preencher a matriz de decisão nas abas “critérios” e “alternativas”.
3) Na aba “criterios”, é preciso preencher o peso para cada critério, enquanto na aba “alternativas” é necessário preencher a matriz de decisão (Tabela 1 e Figura 3).
4) Após preencher e inserir a planilha no aplicativo é necessário clicar no botão “Critério Markowitz” e o cálculo será feito.

Figura 3- Planilha “exemplo imput”.



Fonte: Autores [2024]

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

Figura 4 – Botão Critério Markowitz



Fonte: Ferramenta Critério de Markowitz [2024]

Na Figura 5, são apresentados os resultados do grau de risco desconhecido, calculados pela ferramenta "Critério de Markowitz", juntamente com o ranking das alternativas.

Figura 5: Resultado do grau de risco desconhecido juntamente com o ranking das alternativas.

Tabela Delta Desconhecido

Alternativas	Esperança	Desvio Padrão	Razão Esperança Desvio
BRISTOW - AW139	1898.82	2679.03	0.71
OMNI - S92A	1460.06	2069.67	0.71
OMNI - AW139	1862.62	2641.41	0.71
BRISTOW - S-76C++	1445.58	2085.92	0.69
BRISTOW - S92A	2106.77	3094.18	0.68
OMNI - S-76C++	3212.34	4751.81	0.68

Ranking Final

Ranking	Alternativas
1	BRISTOW - AW139
2	OMNI - S92A
3	OMNI - AW139
4	BRISTOW - S-76C++
5	BRISTOW - S92A
6	OMNI - S-76C++

Fonte: Ferramenta Critério de Markowitz [2024]

7. Análise dos resultados

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

Para validar o resultado, foi desenvolvida uma ferramenta em planilha Excel baseada no Critério de Markowitz, para o cálculo manual. Após realizar os cálculos tanto manualmente quanto por meio do aplicativo desenvolvido em R, concluiu-se que, de acordo com o Critério de Markowitz, a escolha ótima corresponde à aeronave AW-139 da Bristow, seguida pela S92-A da OMNI e pela AW139 da OMNI. Além disso, os resultados do problema abordado por Oliveira et al. [2024] por meio dos métodos híbrido PSI-CoCoSo também indicaram as mesmas aeronaves, S92-A da OMNI, AW-139 da Bristow e AW139 da OMNI, como as três principais alternativas no ranking.

Figura 6 – Validação dos resultados por meio da ferramenta Excel.

Ação	Informações					
	Quantidade de assentos	Peso Máximo de decolagem	Peso Básico Operacional	Velocidade de cruzeiro	Raio de alcance	Razão de subida
	0,17	0,16	0,14	0,17	0,18	0,18
BRISTOW - AW139	12,00	6800,00	4899,00	270,00	449,00	10,90
BRISTOW - S92A	19,00	5307,00	8252,00	143,00	458,00	8,30
BRISTOW - S-76C++	12,00	5307,00	3712,00	143,00	297,00	6,86
OMNI - AW139	15,00	6800,00	4635,00	140,00	573,00	10,90
OMNI - S92A	12,00	5306,00	3675,00	140,00	411,00	6,86
OMNI - S-76C++	19,00	12020,00	8365,00	151,00	539,00	8,30

Variância						Esp	DP	Esp / DP	Ranking
Quantidade de assentos	Peso Máximo de decolagem	Peso Básico Operacional	Velocidade de cruzeiro	Raio de alcance	Razão de subida				
0,17	0,16	0,14	0,17	0,18	0,18				
2,09	1088,00	680,96	45,90	79,92	1,95	1898,82	2679,03	0,71	1
3,31	849,12	1147,03	24,31	81,52	1,49	2106,77	3094,18	0,68	5
2,09	849,12	515,97	24,31	52,87	1,23	1445,58	2085,92	0,69	4
2,61	1088,00	644,27	23,80	101,99	1,95	1862,62	2641,41	0,71	3
2,09	848,96	510,83	23,80	73,16	1,23	1460,06	2069,67	0,71	2
3,31	1923,20	1162,74	25,67	95,94	1,49	3212,34	4751,81	0,68	6

Fonte: Autores [2024]

8. Conclusão

Este estudo desenvolveu e aplicou uma ferramenta computacional baseada no Critério de Markowitz para auxiliar na tomada de decisão. A ferramenta implementada possui um framework interativo e de fácil acesso. A validação dos resultados, realizada por meio de cálculos manuais e pela ferramenta desenvolvida em R, demonstrou consistência e confiabilidade na escolha recomendada pelo Critério de Markowitz, que indicou a ordenação das melhores aeronaves:

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

AW139 da Bristow, S-92A da OMNI e AW139 da OMNI, para os atendimentos às unidades marítimas offshore, ficando a critério do decisor a escolha da aeronave. Esses resultados obtidos correspondem com as aeronaves indicadas no problema proposto por De Oliveira et al. [2024]. A aplicação prática dessa ferramenta pode contribuir significativamente para processos de tomada de decisão em contextos que envolvem a seleção de ativos, como no caso da escolha de aeronaves para empresas offshore. A abordagem proposta abre caminho para futuras pesquisas e aplicações práticas na área da seleção de ativos, pesquisa operacional, e para a sociedade, com potencial impacto em diversas áreas, como mercado financeiro, indústria, entre outras.

Referências

AHMI, Aidi. biblioMagika. (2023). Web Page: https://aidi-ahmi.com/index.php/bibliomagika. Acessado em 03/2024.

Costa, I. P. D. A., Costa, A. P. D. A., Sanseverino, A. M., Gomes, C. F. S., & Santos, M. D. (2022). Bibliometric studies on multi-criteria decision analysis (mcda) methods applied in military problems. *Pesquisa Operacional*, 42, e249414. DOI: https: 10.1590/0101-7438.2022.042.00249414.

Drumond, P., de Araújo Costa, I. P., Moreira, M. Â. L., dos Santos, M., Gomes, C. F. S., & do Nascimento Maêda, S. M. (2022). Strategy study to prioritize marketing criteria: an approach in the light of the DEMATEL method. *Procedia Computer Science*, 199, 448-455. DOI: 10.1016/j.procs.2022.01.054.

De Oliveira, Luana de Azevedo; Pereira, Enderson Luiz; GOMES, Carlos Francisco Simões; Dos Santos, Marcos; Da Silva, Marcos Paulo Rosa Lima; MORATELLI, Anna Caroline De Azevêdo B. Application of the PSI-CoCoSo Method for the Selection of an Aircraft for Aeromedical Rescue in an Offshore Company. Em: 2024 5TH International Conference On Mobile Computing And Sustainable Informatics (ICMCSI) 2024, Anais [...].: IEEE, 2024. p. 257–263.

Dos Santos, M., Quintal, R. S., da Paixão, A. C., & Gomes, C. F. S. (2015). Simulation of operation of an integrated information for emergency pre-hospital care in Rio de Janeiro municipality. *Procedia Computer Science*, *55*, 931-938. DOI: 10.1016/j.procs.2015.07.111.

Jokung-Nguéna, Octave. (2001). Microéconomie de l'incertain: risques et décision. Paris: Dunod.

Júnior, E. L. P., Moreira, M. Â. L., Gomes, C. F. S., dos Santos, M., de Azevedo Junior, C. M., de Araújo Costa, I. P., ... & de Pina Corriça, J. V. (2023). Tourism Development in the city of Rio de Janeiro: Application of Prospective Scenario with the Momentum Method. *Procedia Computer Science*, 221, 394-401. DOI: 10.1016/j.procs.2023.07.053.

Júnior, E. L. P., Dos Santos, M, GOMES, C. F. S. (2023). Gerenciamento da Cadeia de Suprimento: uma Análise a Partir do Método Critic-gra-3n na Seleção de Fornecedores de Peças Automotivas para uma Revendedora de Autopeças na cidade de Guaratinguetá-SP. LV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO). São José dos Campos.

Markowitz, Harry. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, v. 7, n. 1, p. 77–91, 1 mar. 1952.

Menezes, W. F. (2011). Escolha e Decisão em Situação de Incerteza e Risco. *Nexos Econômicos*, 5(2), 59–106. https://doi.org/10.9771/1516-9022rene.v5i2.6769.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br

Moreira, M. Â. L., Gomes, C. F. S., dos Santos, M., Basilio, M. P., de Araújo Costa, I. P., Junior, C. D. S. R., & Jardim, R. R. A. J. (2022). Evaluation of drones for public security: a multicriteria approach by the PROMETHEE-SAPEVO-M1 systematic. *Procedia Computer Science*, 199, 125-133. DOI: 10.1016/j.procs.2022.01.016.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193384
https://proceedings.science/p/193384?lang=pt-br