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

Violação do Princípio de Dominância no Reference Ideal Method

Vilmar Mário Oro Boff
Escola de Administração - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rua Washington Luís, 855 - Centro Histórico, Porto Alegre - RS
Vilmarboff1@gmail.com

Luciano Ferreira
Escola de Administração - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rua Washington Luís, 855 - Centro Histórico, Porto Alegre - RS
Ferreira.Luciano@ufrgs.br

Denis Borenstein
Escola de Administração - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rua Washington Luís, 855 - Centro Histórico, Porto Alegre - RS
denis.borenstein@ufrgs.br

Diogo Lima
Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156 - Boa Viagem, Niterói - RJ
diogofls@id.uff.br

RESUMO

Os métodos e modelos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) são ferramentas importantes para auxiliar diversos tipos de decisores. O *Reference Ideal Method* (RIM) é um método recente que oferece novas possibilidades de aplicações, uma vez que amplia o escopo do clássico método TOPSIS, possibilitando ao decisor escolher um intervalo de referência ideal para cada critério sem, necessariamente, considerar apenas valores extremos. Embora o RIM tenha sido aplicado em diversos problemas, uma análise mais detalhada do seu algoritmo revela violações em relação ao princípio da dominância. Nesse contexto, o presente trabalho discute o problema, assim como propõe uma solução, introduzindo o método denominado B-RIM na literatura sobre AMD. A aplicação do B-RIM a problemas de artigos selecionados da literatura demonstra a efetividade deste método para resolver o problema identificado.

PALAVRAS CHAVE. Tomada de Decisão, Métodos de Apoio Multicritério à Decisão, Reference Ideal Method.

Tópicos (ADM – Apoio à Decisão Multicritério, AD&GP – PO na Administração e Gestão da Produção)

ABSTRACT

Multiple-criteria Decision Analysis (MCDA) methods and models are viable alternatives to help different types of decision-makers. The Reference Ideal Method (RIM), one method of this class, proposed by Cables, Lamata and Verdegay (2016), builds new possibilities for applications once it expands works such as the Technique for Order of Preference by Similarity to the Ideal

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Solution (TOPSIS), enabling the decision maker to choose an ideal interval in the middle of each criterion as a maximization objective. Although RIM's contributions have been noted in several areas, a closer analysis of its algorithm reveals violations in a basic principle of Decision Theory, the dominance principle. In this context, this work identifies the problem, describes it and solves it introducing the Balanced-RIM method. Subsequently, the results are verified in literature articles, confirming the existence of the problem in the bibliography.

KEYWORDS. Decision Making, Multicriteria Decision Support, Reference Ideal Method.

Paper topics (ADM – Multicriteria Decision Support, AD&GP – OR in Administration and Production Management)

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

1. Introdução

Nas últimas décadas, várias abordagens matemáticas têm sido desenvolvidas para o contexto dos métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) [Hwang e Yoon, 1981; Keeney et al., 1993; Cables et al., 2016], auxiliando decisores a refletir sobre objetivos conflitantes. De acordo com Colson e De Bruyn [1989], a área de AMD consiste em conceitos, abordagens, modelos e métodos que ajudam os tomadores de decisão a descobrir, avaliar, ordenar, selecionar ou rejeitar objetos (candidatos, produtos, projetos, etc.) tendo como base uma ponderação expressa por escores, valores ou intensidades de preferência, utilizando diferentes critérios.

A área de AMD apresenta aplicações práticas em vários áreas do conhecimento, como por exemplo em sustentabilidade e meio ambiente [Stojčić et al., 2019], na economia [de Lima Silva et al., 2020] e, mais recentemente, em aprendizado de máquina [Peng et al., 2011]. Porém, de acordo com alguns autores, o campo de pesquisa mais impactado é o de negócios, sendo a maioria dos trabalhos nas subáreas de logística, cadeia de suprimentos, seleção de fornecedores, recursos humanos e finanças [Mardani et al., 2015; Kazimieras Zavadskas et al., 2019].

Uma das escolas dessa área envolve os Métodos de Referência, tais como o TOPSIS (do inglês *Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution*) [Hwang e Yoon, 1981] e o RIM (do inglês *Reference Ideal Method*) [Cables et al., 2016]. Em ambos os métodos, cada alternativa é avaliada pela distância a uma alternativa ideal negativa e uma alternativa ideal positiva. Porém, diferente do TOPSIS, o método RIM oferece a possibilidade do decisor definir um intervalo ideal de referencia para cada critério, sem limitá-lo aos valores extremos (máximo e mínimo de cada critério).

Após analisar o algoritmo do método RIM em detalhes, pode-se observar ao longo desta pesquisa resultados inconsistentes sob o ponto de vista da Teoria da Decisão, em particular, no amplamente aceito Princípio de Dominância [Peterson, 2017; Gomes et al., 2009]. Dessa forma, o presente trabalho pretende explorar perturbações nos resultados oferecidos pelo método RIM, assim como apresentar uma solução para o problema e validá-la utilizando casos disponibilizados em artigos da área de AMD já publicados na literatura.

O restante deste trabalho está organizado como segue. A Seção 2 apresenta uma introdução ao conceitos necessários para entendimento deste artigo, e o referencial teórico necessário; a Seção 3 apresenta os passos metodológicos para condução desta pesquisa; a Seção 4 os resultados; e a ultima sessão está reservada para as conclusões e considerações finais.

2. Referencial Teórico

Métodos multicritério de apoio à decisão tem como objetivo auxiliar o decisor a fazer escolhas em conformidade com seus interesses, em circunstâncias de incertezas, conflitos de informações e concorrência entre vários critérios [Parreiras, 2006]. Entre os objetivos, está a aprendizagem e o entendimento dos tomadores de decisão sobre o problema em questão, considerando suas próprias preferências, valores e objetivos, orientando-os na identificação da melhor escolha em relação as suas prioridades [Belton e Stewart, 2002].

Conforme Roy e Vincke [1981], os métodos dessa área são fundamentados não somente por informações advindas do decisor, mas também por hipóteses matemáticas necessárias e parcialmente restritivas. A partir dessas definições, Hwang e Yoon [1981] e Gomes et al. [2009] definem um postulado útil para qualificar regras de tomada de decisão, chamado de Princípio de Dominância, conforme explicado a seguir:

Definição 2.1 (Dominância)**.** Uma alternativa é considerada dominada quando existe uma outra alternativa que a supera em um ou mais critérios e iguala-se nos demais.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Basicamente, o Princípio de Dominância prescreve uma regra na qual ações que são dominadas por outras não devem ser escolhidas. O conjunto de ações não-dominadas é chamado "Fronteira Eficiente"ou "Ótimo de Pareto"[Gomes et al., 2009].

Um ponto importante é que o Princípio de Dominância não requer nenhuma suposição sobre a agregação de critérios para eliminar alternativas dominadas, fornecendo um meio para reduzir o conjunto de alternativas independentemente do método multicritério utilizado. Isso é crucial para testar a consistência de qualquer método de AMD.

2.1. Método RIM

Os métodos de referência geram uma solução aos problemas multicritério de decisão considerando valores de referencia para mensurar o desempenho das alternativas. Alguns exemplos de métodos dessa categoria são o VIKOR [Yu, 1973], RIM [Cables et al., 2016], TOPSIS [Hwang e Yoon, 1981] e mais recentemente o REF [Aytekin e Durucasu, 2021]. Essas abordagens avaliam as distâncias das alternativas em relação às alternativas ideais e as ordenam a partir da criação dos chamados coeficientes de proximidade. Para os métodos dessa classe e para os coeficientes de proximidades $CP(a_1)$ e $CP(a_2)$ das alternativas a_1, a_2, respectivamente, é criada a seguinte relação de preferência:

$$a_1 \succeq a_2 \iff CP(a_1) \geq CP(a_2),$$

ou seja, quando o coeficiente de proximidade $CP(a_1)$ de a_1 for mais alto que $CP(a_2)$, define-se que a_1 *é preferível a* a_2.

O *Reference Ideal Method* surgiu em 2016 como um método multicritério de referência que possibilita que o decisor escolha intervalos dentro dos critérios para a construção de alternativas ideais. O argumento é o de que a solução preferida nem sempre estará nos extremos dos critérios. Por exemplo, tomando o critério idade para um atleta, a idade ideal (ou ápice da carreira) pode não ser 21 e nem 40 anos, mas estar num intervalo contido nesses dois extremos, como entre 24 e 38 anos. Dessa forma, as definições de Alcance (ou *Range*) e Ideal de Referência (ou *Reference Ideal*) foram propostas.

Definição 2.2 (Alcance)**.** O Alcance R é qualquer intervalo, conjunto de rótulos ou simples valores que pertencem ao universo do discurso.

Definição 2.3 (Ideal de Referência)**.** O Ideal de Referência IR é um intervalo, conjunto de rótulos ou conjunto de valores simples que representam a máxima importância ou relevância dentro do Alcance.

Para incluir esses conceitos no RIM, Cables et al. [2016] desenvolveram uma função de normalização que transforma todas os critérios para uma mesma escala, ao mesmo tempo que considera os Alcances e Ideais de Referência. Para um problema com uma matriz de decisão e pesos definidos, a inclusão dos Alcance e Ideal de Referência ocorre em duas etapas.

Na primeira fase, define-se a distância mínima do desempenho x ao intervalo ideal de referência $IR = [\gamma, \delta]$ por $d_{min}(x, \gamma, \delta) = \min(|x - \gamma|, |x - \delta|)$. Na segunda etapa, são incluídos o Alcance $R = [\alpha,\beta]$ e a função definida por partes $f : \mathbb{R}^5 \longrightarrow [0, 1]$:

$$f(x, \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \begin{cases} 1, & \text{se} \quad x \in [\gamma, \delta] \\ 1 - \frac{d_{min}(x,[\gamma,\delta])}{|\alpha-\gamma|}, & \text{se} \quad x \in [\alpha, \gamma] \wedge \alpha \neq \gamma \\ 1 - \frac{d_{min}(x,[\gamma,\delta])}{|\delta-\beta|}, & \text{se} \quad x \in [\delta, \beta] \wedge \beta \neq \delta \end{cases} \tag{1}$$

Após a normalização, há a ponderação pelos pesos e o cálculo da distância de cada alternativa para as alternativas ideais positiva e negativa. O resultado desse passo é utilizado para

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

calcular os coeficientes de proximidade. O processo de obtenção da ordenação a partir do RIM é descrito no Algoritmo 1.

Algoritmo 1: RIM

1: Defina os alcances $R_j = [\alpha_j, \beta_j]$, os intervalos ideais de referência $IR = [\gamma_j, \delta_j]$ e os pesos w_j de cada critério $j = 1, \ldots, J$
2: Obtenha a matriz de decisão $X = [x_{ij}]$
3: Normalize a matriz de desempenhos por meio da função f definida na Equação (1):

$$Y = \begin{bmatrix} f(x_{11}, R_1, IR_1) & f(x_{12}, R_2, IR_2) & \ldots & f(x_{1J}, R_J, IR_J) \\ f(x_{21}, R_1, IR_1) & f(x_{22}, R_2, IR_2) & \ldots & f(x_{2J}, R_J, IR_J) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(x_{I1}, R_1, IR_1) & f(x_{I2}, R_2, IR_2) & \ldots & f(x_{IJ}, R_J, IR_J) \end{bmatrix}$$

4: Calcule os desempenhos normalizados ponderados $Y' = [y'_{ij}] = y_{ij} w_j$, $i = 1, \ldots, n, j = 1, \ldots, m$
5: Calcule a distância para os ideais de referência normalizados para cada alternativa $D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{C} (y'_{ij} - w_j)^2}$ e $D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{C} (y_{ij})^2}, i = 1, \ldots, I$
6: Calcule o Coeficiente de Proximidade P_i de cada alternativa

$$CP_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, i = 1, \ldots, I$$

3. Princípio da Dominância e o RIM

Nessa seção, demostra-se que o procedimento proposto pelo RIM contém violações em relação ao Princípio de Dominância. O exemplo a seguir será utilizado para explicitar essa lacuna e motivar a formulação do novo algoritmo chamado *Balanced-RIM* (B-RIM).

Considere que uma empresa de tratamento de água deseja avaliar as estações de tratamento em uma determinada cidade. Para tanto, é necessário determinar em que medida a água de cada estação segue os padrões exigidos pela lei a partir dos critérios: Índice de PH, Quantidade de Cloro, Turbidez e Cor. Considere que o decisor deseja estabelecer um ranking das estações considerando os múltiplos critérios. A Tabela 1 apresenta a Matriz de Decisão, contendo os desempenhos de cada subestação em cada critério.

Tabela 1: Matriz de Decisão

Estação	PH	Cloro	Turbidez	Cor
a_1	5.0	6.0	7.0	1.0
a_2	5.0	0.1	7.0	1.0
a_3	5.0	4.0	7.0	1.0
a_4	11.0	5.8	2.0	5.0
a_5	5.0	3.0	1.0	3.0

Além disso, considere que uma agência reguladora forneceu os parâmetros para avaliação da qualidade da água, vistos como Ideais de Referência. Pela experiência no assunto, também considere que o Decisor envolvido conhece o Alcance possível dentro de cada critério e o peso de cada um deles. Todas as informações estão disponíveis na Tabela 2:

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Tabela 2: Variações e Importância

	Ideal de Referência	Alcance	Peso
PH	Entre 6.5 e 9.5	Entre 0 e 14	0.15
Cloro	Entre 0.2 a 2	Entre 0 a 10	0.40
Turbidez	Entre 0 e 5	De 0 a 500	0.30
Cor	0	De 0 a 15	0.15

Para visualizar a violação em relação ao Principio de Dominância, considere as alternativas a_2 e a_3. Essas alternativas possuem os mesmos desempenhos em todos os critérios, exceto em Cloro (Tabela 1), cujo Ideal de Referência é definido pelo intervalo [0.2, 2]. Assim, a_2 tem desempenho de 0.1 em Cloro e dista 0.1 unidades do ideal, enquanto a_3 possui avaliação 4.0 e está distante em 2 unidades do Ideal de Referência. Logo, a_2 está mais próximo do Ideal de Referência que a_3 no critério Cloro. Isso implica que o método produz uma ordenação em que a alternativa a_2 domina a_3 em Cloro e iguala-se nos demais critérios. Assim, por definição, a_2 domina a_3.

Dessa forma, quando o método RIM é aplicado a este conjunto de entrada, espera-se que a alternativa dominante esteja melhor ranqueada que a alternativa dominada. Ainda, como as alternativas são ranqueadas conforme o coeficiente de proximidade (CP_i), uma alternativa i é preferível a outra alternativa k quando o coeficiente de proximidade de i for maior do que o de k, i.e., $CP_i > CP_k$. Assim, tem-se a expectativa de que o método RIM produza um ranking no qual $a_2 \succ a_3$.

Para testar esta hipótese, os primeiros passos obtidos com o RIM são apresentados na Tabela 3 para a normalização dos dados de entrada pela Equação 1.

Tabela 3: Desempenhos Normalizados

Alt.	PH	Cloro	Turbidez	Cor
a_1	0.77	0.50	0.996	0.93
a_2	0.77	0.50	0.996	0.93
a_3	0.77	0.75	0.996	0.93
a_4	0.67	0.53	1.00	0.67
a_5	0.77	0.88	1.00	0.80

Nos passos seguintes do método, calculam-se as alternativas ideais e os coeficientes de proximidade. O ranking final das alternativas é apresentado na Tabela 4. Portanto analisando-se o ranking obtido para as alternativas a_2 e a_3, pode-se notar que a premissa de a_2 dominar a_3 não é satisfeita. Na verdade, o que acontece é $CP_{a_2} < CP_{a_3}$ e, assim, o método prescreve como solução uma ordenação em que a_3 é preferível à alternativa a_2. Portanto, fica demostrado que o RIM viola o Princípio de Dominância para este exemplo.

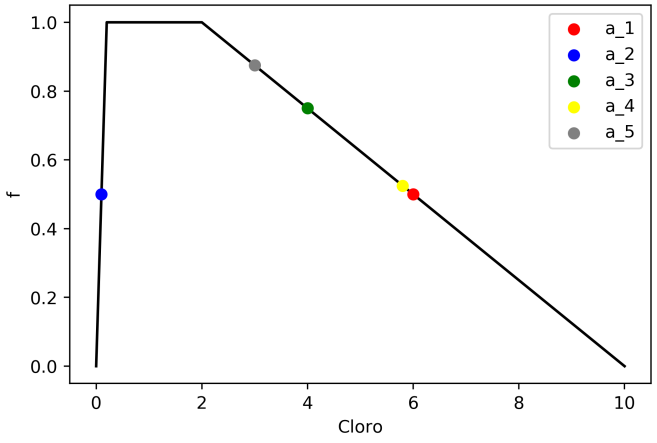
DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Tabela 4: Coeficientes de Proximidade

Alt.	Coeficiente de Proximidade	Ranking
a_1	0.75	3
a_2	0.75	3
a_3	0.86	2
a_4	0.74	4
a_5	0.90	1

É importante observar também que a_3 tem um desempenho melhor que a_2 no critério Cloro na Tabela 3 (dos desempenhos normalizados), demostrando claramente que a causa da violação está na etapa de normalização do método. Além disso, considere a Figura 1, onde consta o gráfico da função f de normalização para o critério Cloro. Este gráfico mostra as alternativas como pontos coloridos e o comportamento da função f em preto no domínio dado pelo Alcance deste critério. Como esperado, em verde temos a_3 a uma altura de 0.75 e em azul a_2 a uma altura de 0.5. Note também que o comportamento de f é assimétrico em relação ao Ideal de Referência e há uma diferença nas declividades das duas retas, contribuindo também para que a_3 tenha melhor desempenho normalizado que a_2. Em síntese, os dados apontados neste exemplo demonstram que a função de normalização não é simétrica em relação aos ideais de referência, levando o RIM a não obedecer o Princípio de Dominância em certas situações.

Figura 1: Normalização - Critério Cloro



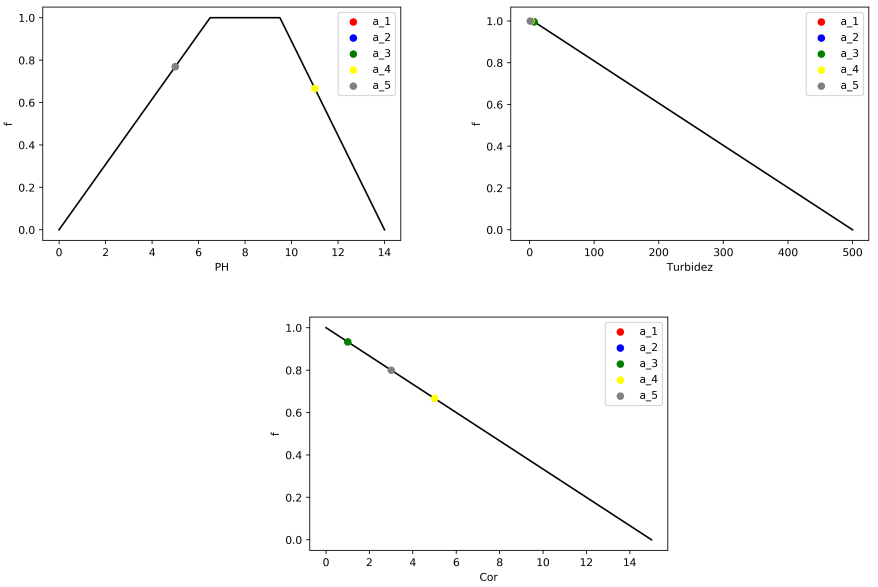
A Figura 2 apresenta os gráficos das funções de normalização para o restante dos critérios. Note que o critério PH tem diferentes inclinações na função f.

4. Nova Normalização Proposta

Nessa seção, apresenta-se uma alternativa de normalização para corrigir a violação do Princípio de Dominância pelo RIM. A principal ideia é construir uma função de normalização que seja simétrica em relação aos ideais de referência. A função de normalização do RIM é a seguinte:

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Figura 2: Normalização nos Demais Critérios



Fonte: autoria própria.

$$f(x_{ij},\alpha_j,\beta_j,\gamma_j,\delta_j) = \begin{cases} 1, & \text{se} \quad x_{ij} \in [\gamma_j,\delta_j] \\ 1 - \frac{d_{min}(x_{ij},[\gamma_j,\delta_j])}{|\alpha_j-\gamma_j|}, & \text{se} \quad x_{ij} \in [\alpha_j,\gamma_j] \wedge \alpha_j \neq \gamma_j \\ 1 - \frac{d_{min}(x_{ij},[\gamma_j,\delta_j])}{|\delta_j-\beta_j|}, & \text{se} \quad x_{ij} \in [\delta_j,\beta_j] \wedge \beta_j \neq \delta_j \end{cases} \tag{2}$$

$d_{min}(x_{ij},\gamma_j,\delta_j) = \min(|x_{ij}-\gamma_j|,|x_{ij}-\delta_j|)$, $IR_j = [\gamma_j,\delta_j]$ é o Ideal de Referência do critério j e $R_j = [\alpha_j,\beta_j]$ é o Alcance do critério j.

Basicamente, a função leva o Alcance do atributo no intervalo [0,1], como visto nos gráficos da seção anterior. Por se tratar de duas retas, quando não estamos no ideal de referência, teremos obrigatoriamente $y = ax_{ij} + b$ em cada lado da função.

Além disso, deve-se lembrar que o problema está na declividade das duas retas, ou seja, nos coeficientes a's de cada uma delas. Analisando a função f, vemos que eles são: $\frac{1}{|\alpha_j-\gamma_j|}$ para o lado esquerdo da função e $-\frac{1}{|\delta_j-\beta_j|}$ para o lado direito. Dessa forma, temos de igualar essas inclinações para corrigir o problema, podendo ser ser feito de duas formas: igualar a partir da maior declividade (em módulo) ou igualar a partir da menor declividade (em módulo).

Como utilizar a maior inclinação em módulo nos dois lados da função de normalização pode gerar valores negativos e inconsistências nos valores normalizados, optou-se por utilizar a menor das duas declividades $|\frac{1}{\alpha_j-\gamma_j}|$ e $|-\frac{1}{\delta_j-\beta_j}|$. Para isso, deve-se selecionar aquela que possui maior valor no denominador, i.e, $\max(|\delta_j-\beta_j|,|\alpha_j-\gamma_j|)$, gerando a seguinte função de normalização:

$$f(x_{ij},\alpha_j,\beta_j,\gamma_j,\delta_j) = \begin{cases} 1, & \text{se} \quad x_{ij} \in [\gamma_j,\delta_j] \\ 1 - \frac{d_{min}(x_{ij},[\gamma_j,\delta_j])}{\max(|\alpha_j-\gamma_j|,|\delta_j-\beta_j|)}, & c.c. \end{cases} \tag{3}$$

As modificações propostas deram origem a um novo procedimento chamado Balanced

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Reference Ideal Method (B-RIM), o qual segue os mesmos passos do RIM, porém com a utilização da nova função de normalização proposta no passo 3 do método.

5. Resultados

Esta seção apresenta a comparação entre os métodos RIM e B-RIM para dois casos reais baseados em dois artigos extraídos da literatura. O primeiro artigo é entitulado "A new biomaterial selection approach using reference ideal method", publicado no periódico SADHANA - ligado a Academia de Ciências da Índia - em 2021. O tema tratado é o ordenamento e seleção de biomateriais para implantes em seres humanos. O texto conta com dois estudos de caso, um sobre próteses de quadril e outro sobre próteses de joelho. Nos restringiremos ao segundo, o qual usa o RIM para o ordenamento multicritério dos biomateriais.

Na parte do manuscrito onde analisa-se próteses de joelho, Sofuoğlu [2021] utiliza três composições de pesos. Não por acaso, em todas elas houve mudança de ordenação quando aplicados o RIM e o B-RIM. Por simplicidade, vamos nos restringir ao caso onde o método SIMOS foi usado para a obtenção das ponderações. Dessa forma, após aplicar os dois algoritmos nos dados do problema, temos os coeficientes de proximidade os rankings na Tabela 5.

Tabela 5: Comparação dos métodos em Sofuoğlu [2021]

	RIM		**B-RIM**	
Alt.	Coeficiente de Proximidade	Ranking	Coeficiente de Proximidade	Ranking
A	0.182	10	0.182	10
B	0.272	9	0.272	9
C	0.438	7	0.438	7
D	0.424	8	0.424	8
E	0.479	6	0.479	6
F	0.503	4	0.503	4
G	0.495	5	0.495	5
H	0.508	3	0.508	3
I	0.613	1	0.613	2
J	0.585	2	0.668	1

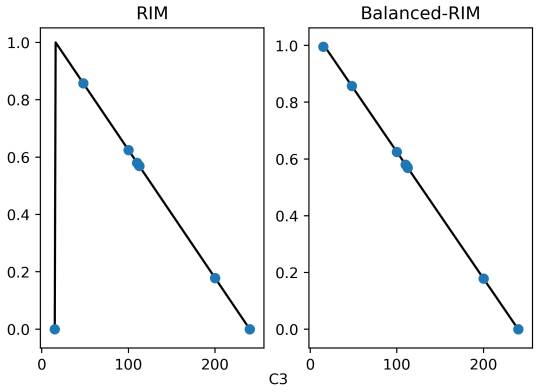
Analisando a Tabela 5, podemos observar que duas alternativas de posição, I e J. A causa da violações no princípio de dominância reside em $C3$ (Figura 3), critério chamado de Módulo de Elasticidade. A inversão ocorre pois o alvo a ser seguido está muito próximo do limite esquerdo do alcance, gerando diferença nas declividades no critério. Dessa forma, como a alternativa J está ao lado esquerdo da função de normalização (lado com maior declividade), quando o RIM é aplicado, o seu coeficiente de proximidade fica abaixo do valor desejável. Quando o B-RIM é aplicado, esse valor muda de 0.585 para 0.668, levando J para a primeira posição do ranking. Essa alteração é de grande importância para o problema, visto que o objetivo é indicar qual a melhor prótese de joelho, ou seja, houve alteração na indicação da alternativa melhor ranqueada.

O segundo artigo a ser examinado tem o título "Multi-criteria decision-making analysis of different non-traditional machining operations of Ti6Al4V", de autoria de Gürgen et al., que implementa dois estudos sobre a liga metálica Ti6Al4V: o primeiro é experimental e envolve vários métodos de corte da liga e o segundo ordena 24 experimentos com diferentes técnicas de corte, diferentes máquinas e diferentes parâmetros nas máquinas.

Assim, o segundo estudo, que utiliza o RIM como método de ordenação desses 24 experimentos (alternativas), é analisado via 3 critérios. Nesse contexto, os Alcances e Ideais de Referência

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Figura 3: Função de Normalização em Sofuoğlu [2021] - Critério C3



do RIM foram determinados por quatro *experts*, que também determinam quatro conjuntos de pesos separadamente. Ao computar o RIM e o B-RIM escores, houve um significativo número de trocas de posição das alternativas no *ranking* calculado pelos dois métodos. Tabela 6 mostra quantas alternativas trocaram de lugar para cada conjunto.

Tabela 6: Pesos e Quantidades de Trocas para Diferentes *Experts*

Expert	Pesos em [C1,C2,C3]	Quantidade de Trocas	Quantidade de Experimentos
1	[0.4, 0.3, 0.3]	20	24
2	[0.3, 0.4, 0.3]	19	24
3	[0.3, 0.3, 0.4]	22	24
4	[1/3, 1/3, 1/3]	20	24

A Figura 4 confirma mais uma vez a causa das inversões, onde os valores Ideais de Referência possuem alvos entre o início e o meio dos Alcances nos três critérios. Ao aplicar o RIM, acumulam-se muitas distorções pelas diferenças de inclinação nas funções de normalização, fato este que é corrigido quado aplicamos o B-RIM.

6. Conclusão

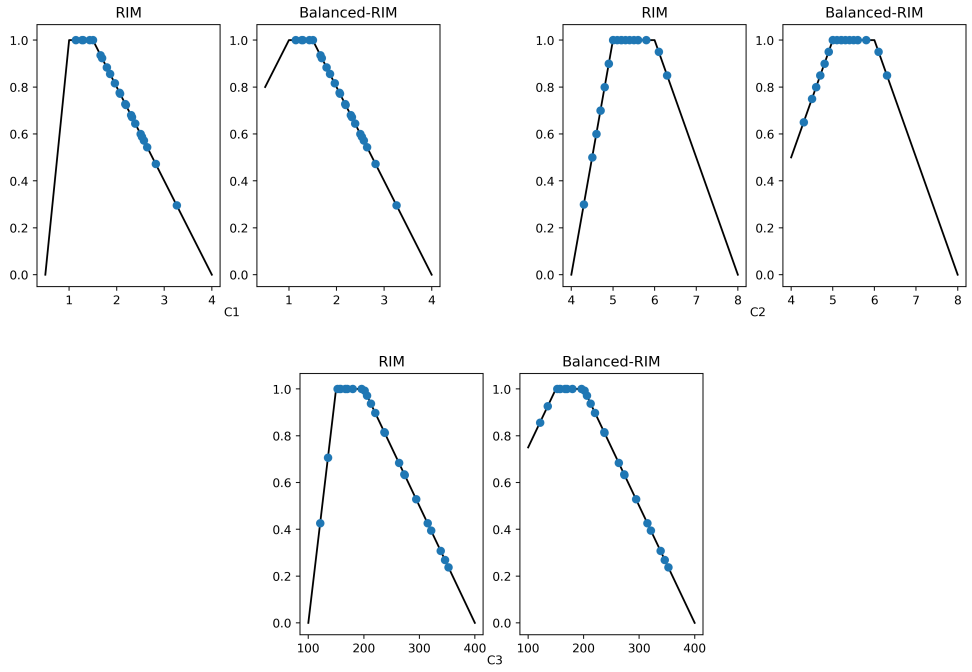
Esse trabalho teve como objetivo inspecionar e discutir a respeito da violação de um princípio teórico, o princípio de dominância, encontrada no RIM. Através de um exemplo introdutório, detectou-se que o método RIM infringe o princípio da dominância da teoria de Apoio a Decisão Multicritério. Em seguida, um novo algoritmo, denominado B-RIM, foi proposto para lidar com esta limitação.

A fim de exemplificar a efetividade do B-RIM, foram utilizados dois estudos de caso introduzidos em artigos científicos publicados, Os métodos RIM e B-RIM foram aplicados, de forma comparativa. Em ambos os casos, o problema de dominância do RIM são constatados. O método B-RIM é efetivo em evitar este problema, oferecendo ranqueamentos que respeitam a um dos principais princípios de um processo de decisão racional.

A expansão do problema para um ambiente difuso surge como sugestão de trabalhos futuros. Nesse contexto, novas formas de visualização e representação do problema devem ser consideradas. Uma variante do B-RIM, incorporando conjuntos difusos, deverá ser desenvolvido e avaliado

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Figura 4: Função de Normalização em Gürgen et al. [2019]



em problemas reais.

Referências

Aytekin, A. e Durucasu, H. (2021). Nearest solution to references method for multicriteria decision-making problems. *Decision Science Letters*, 10(2):111–128.

Belton, V. e Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Springer Science & Business Media.

Cables, E., Lamata, M. T., e Verdegay, J. L. (2016). RIM-Reference Ideal Method in multicriteria decision making. *Information Sciences*, 337:1–10. URL `https://doi.org/10.1016/j.ins.2015.12.011`.

Colson, G. e De Bruyn, C. (1989). *Models and methods in multiple criteria decision making*. Elsevier.

de Lima Silva, D. F., Cezar, S. J., e de Almeida Filho, A. (2020). Aprendizagem de preferências através do método topsis: uma aplicação para ratings de liberdade econômica. In *Anais do XLVII Seminário Integrado de Software e Hardware*, p. 72–80. SBC.

Gomes, L. F. A. M., Gomes, C. F. S., e de Almeida, A. T. (2009). *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. Editora Atlas.

Gürgen, S., Çakır, F. H., Sofuoğlu, M. A., Orak, S., Kuşhan, M. C., e Li, H. (2019). Multi-criteria decision-making analysis of different non-traditional machining operations of Ti6Al4V. *Soft Computing*, 23(13):5259–5272. URL `https://doi.org/10.1007/s00500-019-03959-8`.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br

Hwang, C.-L. e Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple Attribute Decision Making*, p. 58–191. Springer.

Kazimieras Zavadskas, E., Antucheviciene, J., e Chatterjee, P. (2019). Multiple-criteria decision-making (mcdm) techniques for business processes information management.

Keeney, R. L., Raiffa, H., e Meyer, R. F. (1993). *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge University Press.

Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., e Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications–a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska istraživanja*, 28(1):516–571.

Parreiras, R. O. (2006). *Algoritmos evolucionários e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério*. PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.

Peng, Y., Kou, G., Wang, G., e Shi, Y. (2011). FAMCDM: A fusion approach of MCDM methods to rank multiclass classification algorithms. *Omega*, 39(6):677–689.

Peterson, M. (2017). *An Introduction to Decision Theory*. Cambridge Introductions to Philosophy. Cambridge University Press, 2 edition.

Roy, B. e Vincke, P. (1981). Multicriteria analysis: survey and new directions. *European Journal of Operational Research*, 8(3):207–218. URL https://doi.org/10.1016/0377-2217(81)90168-5.

Sofuoğlu, M. A. (2021). A new biomaterial selection approach using reference ideal method. *Sādhanā*, 46(1):1–8.

Stojčić, M., Zavadskas, E. K., Pamučar, D., Stević, Ž., e Mardani, A. (2019). Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008–2018. *Symmetry*, 11(3):350.

Yu, P.-L. (1973). A class of solutions for group decision problems. *Management Science*, 19(8): 936–946.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193829
https://proceedings.science/p/193829?lang=pt-br