

## USO DE SURROGATE WEIGHTS PARA O PROBLEMA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO MULTICRITÉRIO ATRAVÉS DOS MÉTODOS SMARTER E PROMETHEE-ROC: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO

**Carolayne de Paula Ferreira Mota**

MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy  
Universidade Federal de Pernambuco. Cx Postal: 95, CEP: 55.002-970, Caruaru-PE, Brasil  
carolpaula0308@gmail.com

**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

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento dos pesos obtidos com o *rank order centroid* (ROC) na seleção de portfólio. A obtenção da informação preferencial é um dos temas centrais na literatura sobre decisão multicritério devido à dificuldade de lidar com a incerteza relacionada à subjetividade dessa informação. Com esse fim, o uso de pesos *surrogate* é bastante explorado para a problemática de escolha, incluindo análises sobre os erros relacionados ao seu uso, mas há poucas aplicações na problemática de portfólio, e nenhuma análise mais ampla foi encontrada para essa problemática. Neste trabalho foi realizada uma simulação Monte Carlo com modelos de apoio a decisão multicritério para seleção de portfólio baseados no modelo aditivo e no PROMETHEE-ROC, comparando os resultados obtidos com os “pesos verdadeiros” e os pesos ROC para analisar o erro médio. A simulação revelou que os pesos ROC possui bom desempenho na seleção de portfólio, dentro dos cenários considerados.

**PALAVRAS CHAVE.** Surrogate weights, Seleção de portfólio, MCDA.

**Tópicos.** Apoio à Decisão Multicritério, Outras aplicações em PO.

### ABSTRACT

This paper aims to analyze the behavior of the weights obtained with the rank order centroid (ROC) in portfolio selection. Obtaining preferential information is one of the central topics of the literature on multicriteria decision due to the difficulty of dealing with the uncertainty related to the subjectivity of this information. Therefore, the use of surrogate weights is widely explored for the problem of choice, including analysis of errors related to its use, but there are few applications in the portfolio problem, and no broader analysis has been found for this problem. In this paper, a Monte Carlo simulation was performed with models to support multicriteria decision for portfolio selection based on the additive model and PROMETHEE-ROC, comparing the results obtained with the “true weights” and the ROC weights to analyze the average error. The simulation revealed that the ROC weights perform well in portfolio selection, within the considered scenarios.

**KEYWORDS.** Surrogate weights, Portfolio selection, MCDA.

**Paper topics.** Multicriteria Decision Support OA, Other applications in OR.

## 1. Introdução

Informações são de suma importância nas empresas, pois a partir delas pode-se identificar problemas ou oportunidades de melhoria. Portanto, o uso apropriado das informações na tomada de decisões torna-se cada vez mais essencial, visto que o seu uso de forma adequada pode trazer benefícios na tomada de decisão. No entanto, o processo de obtenção de informação pode ser caro e lento, e por consequência pode ocasionar perdas de oportunidades por causa do atraso ao tomar as decisões. A decisão de selecionar quais projetos vão compor o portfólio de uma organização costuma ser um problema de informação escassa devido não apenas às incertezas dos projetos, mas ao alto grau de complexidade da informação estratégica.

Projeto busca criar um objeto, serviço ou resultado exclusivo de tal maneira que é implementado através de um esforço temporário, pois, há início e fim determinado. Logo, o fim da execução do projeto traz consequências sociais, econômicas e ambientais que pode durar mais que o tempo de execução dele [PMI 2013]. Por outro lado, portfólio é um conjunto de projetos, programas e ações com o intuito de alcançar objetivos estratégicos, mas ao contrário de projeto o tempo de execução não tem previsão de fim, porque ao longo dele vai sendo inserido novos projetos [PMI 2017].

Com base nisso, a escolha do portfólio tem impacto no resultado da empresa a longo prazo uma vez que se precisa implementar um conjunto de projetos para satisfazer os objetivos da organização. Sendo assim, torna-se complicado selecionar o portfólio adequado com as metas que se deseja obter apenas analisando um critério de decisão, por isso, decisões de seleção de portfólio devem usar modelos de multicritério.

Para tal, existem modelos de multicritério específicos para o problema de seleção de portfólio como o PROMETHEE V que foi exposto nos artigos [de Almeida *et al* 2014], [López e de Almeida 2014] e o modelo aditivo que foi exposto por [Martins *et al* 2016].

No entanto, ao utilizar modelos de multicritério o decisor precisa informar o peso de cada critério. Contudo, obter o valor apropriado para cada peso pode ser complexo principalmente por envolver uma informação subjetiva relacionada ao julgamento de valor do decisor, de tal maneira que o tomador de decisão pode ser incapaz ou pode não desejar fornecer essa informação precisamente.

Para lidar com esse problema, o uso de procedimentos de *surrogate weights* vem sendo amplamente utilizado na literatura para obter os pesos de modo que o decisor não precise fazer muito esforço, de forma que o procedimento é utilizado em diversas situações de decisão de escolha [Ribeiro *et al* 2020], [Kasim *et al* 2011].

No presente trabalho iremos explorar e analisar o uso dos pesos do *rank order centroid* (ROC) para o problema de seleção de portfólio de projetos com o modelo aditivo, pois segundo [Edwards e Barron 1994] o ROC possui uma boa taxa de acerto na seleção da melhor alternativa. Estes estudos, no entanto, se limitam a decisões que apenas se encaixam nas problemáticas de escolha, não havendo na literatura estudo para decisões da problemática de portfólio.

[Morais *et al* 2015] propuseram a aplicação da abordagem ROC ao método PROMETHEE, apresentando o uso da abordagem surrogate a um método não compensatório. [Morais *et al* 2015] definiram como PROMETHEE-ROC o método PROMETHEE II quando combinado com a abordagem ROC.

Segundo a análise de [Barron e Barrett 1996] o ROC possui um desempenho superior na maioria das situações direcionadas a escolha de uma única alternativa em comparação ao rank recíprocal (RR), rank sum (RS) e equal weight (EW) quando uso no modelo aditivo. [Almeida-Filho *et al* 2018] apresentam em seu trabalho resultados muito importantes preenchem uma lacuna na literatura quanto ao uso de abordagens surrogates para definição de pesos em métodos de sobreclassificação para as problemáticas de escolha e de ordenação através dos métodos PROMETHEE I e PROMETHEE II, mostrando que a abordagem ROC é mais adequada que as abordagens RR, RS e EW. [Almeida-Filho *et al* 2018] apresentam também em seus resultados que o uso de do ROC para o PROMETHEE obteve uma taxa de acerto maior que o ROC para o modelo aditivo para a maior parte cenários analisados. Todavia, não existe, nem com modelo aditivo e nem com o PROMETHEE, estudos que analisem a eficácia do ROC para problemática de portfólio, que

se distingue por buscar uma combinação de alternativas, por esse motivo utilizamos o ROC na análise.

Em decisões de seleção de portfólio, a escolha não se limita a uma alternativa, mas sim à uma combinação de alternativas pertencentes a um conjunto de alternativas propostas. É preciso observar, no entanto, que a avaliação multicritério, fonte do erro causado pelo *surrogate*, é realizada no nível das alternativas e não das combinações, sendo levado para a combinação ao somar o valor de cada alternativa que a ela pertence. Ao nível das alternativas, o erro pode causar um aumento ou diminuição indevido do valor da alternativa. Ao nível das combinações, três situações podem ocorrer: 1) Aumento indevido do valor da combinação; 2) Diminuição indevida do valor da combinação; 3) alteração irrelevante ou não alteração do valor da combinação devido à combinação de erros positivos e negativos no nível das alternativas.

Diante disso, o presente artigo busca analisar por meio de uma simulação os prejuízos na decisão de escolha do portfólio ao utilizar o procedimento de *surrogate weights*, visto que a combinação de erros nas avaliações individuais das alternativas pode afetar a avaliação das combinações. Além disso, caso prejudique, qual é o prejuízo médio.

É importante ressaltar que o presente trabalho não possui como objetivo analisar e nem propor o uso da abordagem ROC para modelo aditivo ou para PROMETHEE em problemáticas de escolha ou ordenação. Esses tópicos já foram definidos na literatura pelos estudos de [Edwards e Barron 1994], [Barron e Barrett 1996], [Morais *et al* 2015] e [Almeida-Filho *et al* 2018] que serviram de referência para o presente estudo. O foco deste trabalho está na análise do uso da abordagem ROC para a problemática de portfólio, não encontrada na literatura.

O restante do artigo encontra-se estruturado em cinco seções, referencial teórico, descrição do modelo, simulação, discussão dos resultados e considerações finais.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1 Decisão multicritério

Decisão de multicritério é a análise das alternativas com o intuito de decidir qual deve escolher de maneira que múltiplos objetivos sejam satisfeitos, onde esses objetivos são representados como parâmetros, de forma que consiga avaliar cada alternativa com base em cada objetivo. Essas variáveis são denominadas também como critérios, atributos ou dimensões. No entanto, o decisor precisa ter uma posição sobre as alternativas, ou seja, avaliar conforme uma das problemáticas. Essas problemáticas têm como finalidade identificar o tipo de problema de decisão a partir da maneira que o decisor quer comparar as alternativas [De Almeida 2013].

Segundo [Roy 1996] as problemáticas são classificadas como:

- Problemática de escolha: tem como finalidade escolher uma alternativa;
- Problemática de ordenação: tem como finalidade ordenar as alternativas;
- Problemática de classificação: tem como finalidade alocar as alternativas em classes ou categorias;
- Problemática de descrição: tem como finalidade ajudar a entender qual decisão tomar de acordo com uma melhor descrição do problema, das alternativas e suas consequências.

Além disso, [Belton e Stewart 2002] explicita a problemática de portfólio que é um problema particular da problemática de escolha e que tem como finalidade escolher, do conjunto de alternativas, um subconjunto.

### 2.2 ROC weights: SMARTER e PROMETHEE-ROC

O *Rank Order Centroid* (ROC) foi sugerido por [Barron 1992] como método de ponderação do simplex do espaço de peso viável. Os pesos ROC são os componentes do vetor centroide do simplex  $S_w$ . Ou seja, o ROC é fundamentado na média dos cantos no poliedro determinado pelo simplex  $S_w = W_1 > W_2 > \dots > W_N$ ,  $\sum W_i = 1$  e  $W_i \geq 0$  em que os pesos são representados pelo centroide (ponto de massa) do  $S_w$ . A obtenção dos pesos, através do ROC, dos critérios já ordenados é calculada através da equação 1.

$$W_j^{ROC} = 1/N \sum_{z=j}^N \frac{1}{z} \quad \text{para todo } j = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Onde  $N$  é o número de critérios e  $j$  é a posição do critério na ordenação.

O método PROMETHEE II [Brans *et al* 1986] é baseado na estruturação dos objetivos como critérios, que são normalizados pela diferença entre a avaliação de cada critério, em seguida, calcula a diferença de cada par de alternativas  $a$  e  $b$  em relação a cada critério  $j$ , que é representado por  $P_j(a, b)$ , logo após, é definida a função de preferência que obtém valores entre 0 e 1.

Logo, ao obter os valores pode-se calcular a preferência agregada pela equação 2.

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) \times w_j \quad (2)$$

$\left( \sum_{j=1}^k w_j = 1 \right) \quad w_j: \text{ pesos de cada critério}$

Em seguida, se obtém os fluxos positivos  $\Phi^+$  e os fluxos negativos  $\Phi^-$  com as equações 3 e 4.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (3)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (4)$$

E por fim calcula o fluxo líquido obtido com a equação 5.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (5)$$

No entanto, realizar o PROMETHEE II pode se tornar complexo quando o decisor não consegue estabelecer pesos para os critérios. Uma forma de tornar esse procedimento mais simples é utilizar a ordenação dos critérios e obter seu peso através de métodos de aproximação, como os chamados *surrogates*. Segundo [Kirkwood e Sarin 1985] existem duas razões pelas quais a ordenação pode ser útil, a primeira é quando o decisor não está disponível ou não quer definir os pesos, a segunda razão é quando não houver apenas um decisor mas um grupo apropriado que apenas concorde com o nível da ordem de classificação.

A Sendo assim, a proposta do ROC que é um método que consegue os pesos a partir da ordem de classificação dos critérios ao ser aplicado no PROMETHEE II obtém bons resultados, sendo denominado PROMETHEE-ROC segundo [Morais *et al* 2015].

Outro modelo que utiliza o ROC é o SMARTER, proposto por [Edwards e Barron 1994], que analisa função valor lineares para avaliação intracritério em que o decisor estabelece os objetivos e o representa por meio de critérios obtendo seu valor ao ordená-los pelo *swing* e aplicando o ROC. O SMARTER realiza a avaliação multicritério das alternativas através do modelo aditivos, representado pela equação (6).

$$v(x_i) = \sum_{j=1}^k w_j v_j(x_{ij}) \quad (6)$$

Onde  $v(x_i)$  é o valor da alternativa  $i$ , e  $v_j(x_{ij})$  é o valor normalizado do desempenho da alternativa  $i$  no critério  $j$ .

### 2.3 Seleção de Portfólio

Para compor o portfólio o decisor deve levar em consideração restrições que possibilite o portfólio ser viável, onde geralmente a função objetivo em modelos de otimização são maximizadas. Sendo assim, a formulação do problema de seleção de portfólio é representada pela equação 7:

$$\begin{aligned} & \text{MAX} \quad \sum v(x_i)y_i & (7) \\ & \text{S. a} \\ & \sum c_i y_i \leq B \\ & y_i \in \mathbb{N}_0^1 \end{aligned}$$

Onde,  $y_i$  são as variáveis de decisão binárias que assumem valor zero quando o projeto  $i$  não está incluído no portfólio e valor um quando está incluído.  $v(x_i)$  é o valor do projeto  $i$ ,  $c_i$  é o custo do projeto e  $B$  é o orçamento disponível.

Considerando o problema multicritério de seleção de portfólio, o valor de cada projeto pode ser substituído na equação 7 pelo cálculo do valor global de cada um deles considerando todos os critérios, conforme é apresentado na equação 8, onde,  $w_j$  é o peso do critério  $j$ ,  $v_j$  é a função valor do critério  $j$  e  $(x_{ij})$  é o desempenho do projeto  $x_i$  no critério  $j$ .

Foram encontrados na literatura alguns artigos de seleção de portfólio usando procedimentos *surrogate weights* para a obtenção dos pesos, como o RS [Chien e Sainfort 1998]. Além disso, existe também artigos de modelos que utilizam o ROC para portfólio através do SMARTER [Aragão e Fontana 2018], por outro lado, não foi encontrado na literatura artigos sobre seleção de portfólio com PROMETHEE-ROC.

$$\begin{aligned} & \text{MAX} \quad \sum \sum w_j v_j(x_{ij})y_i & (8) \\ & \text{S. a} \\ & \sum c_i y_i \leq B \\ & y_i \in \mathbb{N}_0^1 \end{aligned}$$

Apesar de ser incomum para portfólio, o procedimento de obtenção de pesos ROC é amplamente utilizado na literatura em outros tipos de tomada de decisão. Estudos mostram que para a problemática de escolha, o ROC possui uma taxa de acerto na escolha da melhor alternativa que varia entre 75% e 87%, com uma média de 2% de perda de valor na decisão [Edwards e Barron 1994]. Apesar disso, não há na literatura estudo para decisões da problemática de portfólio, apenas existindo poucas aplicações do portfólio com o ROC [Lopes e de Almeida 2013].

### 3. Descrição do modelo

#### 3.1. Seleção de portfólio com modelo aditivo

Os modelos apresentados têm como objetivo fornecer uma recomendação para problemas de seleção de portfólio simulados, obtendo a recomendação para pesos considerados precisos, os chamados “pesos verdadeiros” e os pesos ROC, aplicados aos critérios de acordo com a ordem decrescente dos pesos considerados verdadeiros. Desta forma, dois modelos são aplicados, um para os “pesos verdadeiros” e outro para os gerados através do procedimento ROC, sendo a recomendação de cada um comparada ao final.

Para ambos modelos, considera-se que  $A$ ,  $C$  e  $R$  são os conjuntos de alternativas, critérios e restrições do problema, respectivamente, sendo  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ ,  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ . Por efeito de simplificação, será considerada apenas uma restrição no problema, representando a restrição de orçamento.

Considere também que  $X_{i,j}$  representa a matriz de consequências, onde o elemento  $x_{ij}$  representa o desempenho que a alternativa  $i$  possui para o critério  $j$ . É importante perceber que cada critério pode ter uma escala diferente de desempenhos reais, devendo-se transformar estes desempenhos em uma escala padronizada e de fácil entendimento.

O uso da escala possui uma interdependência com a obtenção dos pesos, no caso dos métodos compensatórios. Foi escolhida a escala de razão para representar a função intracritério

linear considerada no modelo aditivo, devido ao efeito de escala descrito por [Martins et al 2016]. A transformação dos desempenhos reais para a escala de razão é descrita pela equação 9.

$$v_j(x_{ij}) = x_{ij}/[Max_j x_{ij}] \quad (9)$$

A equação 9 transformará os desempenhos reais em valores entre 0 e 1, onde zero representará de fato o desempenho real zero, ou ausência de propriedade, uma das características da escala de razão. Uma alternativa  $i$  terá para o critério  $j$  valor 1 quando ela tiver o maior desempenho dentre todas as alternativas para este critério.

Assumimos que há precisão nos “pesos verdadeiros”, de forma que, uma vez obtidos os valores intracritério de todas as alternativas, o cálculo da recomendação do modelo com os “pesos verdadeiros” é realizado através da equação 8.

Para o modelo com uso dos pesos ROC, os pesos na equação 8 devem ser substituídos pelos pesos obtidos com a equação 1.

### 3.2. Seleção de portfólio com PROMETHEE-ROC

Uma outra análise será realizada utilizando o PROMETHEE-ROC associado a portfólio. Para isso, serão usados os pesos ROC com o PROMETHEE V. De maneira semelhante ao modelo com o SMARTER, o ROC calcula os pesos de acordo com a ordenação dos critérios. Deve-se perceber, no entanto, que os pesos utilizados no SMARTER possuem um significado de constantes de escala, diferentemente do PROMETHEE que significa apenas a importância relativa dos critérios. Desta forma a questão de escala considerada para o modelo aditivo, através da equação 8, não é considerada aqui.

No entanto, outro problema de escala existe quando se considera o PROMETHEE V, método da família PROMETHEE voltado para portfólio. É aplicado aos fluxos líquidos obtidos através da equação 5, apresentada anteriormente, uma transformação de escala, pois todos os fluxos considerados na função objetivo do problema da mochila devem ser positivos. Essa transformação é necessária, pois de acordo com [Vetschera e de Almeida 2012], os fluxos líquidos do PROMETHEE II não são adequados para o problema de portfólio, precisando de uma adaptação de escala, conforme indicado pelos autores, usando a equação 10.

$$\Phi'(a) = \Phi(a) + t \quad (10)$$

Onde  $\Phi'$  representa o fluxo líquido ajustado para o problema de seleção de portfólio e  $t$  é um valor constante que deve ser maior que 1, considerando os fluxos normalizados, como são obtidos através das equações 3, 4 e 5.

Os fluxos líquidos ajustados são utilizados como coeficientes da função objetivo na formulação do problema de seleção de portfólio, de acordo com a equação 7, assumindo a posição do valor das alternativas.

De maneira similar ao modelo aditivo, dois modelos serão considerados para o PROMETHEE, onde um deles considerará os “pesos verdadeiros” e o outro utilizará os pesos ROC.

## 4. Simulação

Uma simulação Monte Carlo foi realizada com o intuito de observar o erro causado pelo procedimento ROC ao problema de seleção de portfólio. A figura 1 mostra uma visão geral da simulação realizada. Primeiramente são definidos os parâmetros considerados para a simulação. A simulação foi realizada 32 vezes, considerando cenários com parâmetros diferentes. Foram considerados cenários com 3, 5, 7 e 9 critérios e 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75 e 100 alternativas. Em cada cenário a simulação gerou aleatoriamente 10 mil casos e aplicou o modelo a cada um deles.

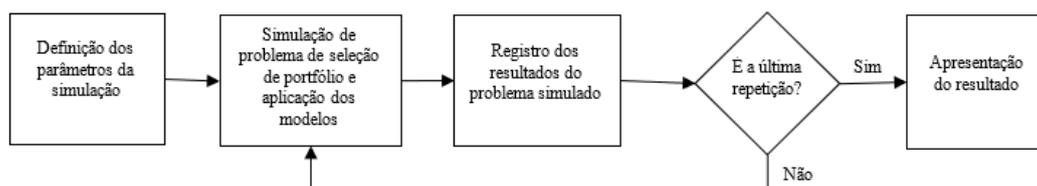


Figura 1: Visão geral da análise com simulação Monte Carlo

A etapa de “Simulação do problema de seleção de portfólio e aplicação dos modelos” é apresentada na figura 2 e descrita a seguir.

- Etapa 1 - Geração dos “pesos verdadeiros”: Gera aleatoriamente um peso para cada critério, em um intervalo entre 0 e 1, de acordo com uma distribuição uniforme. Após a geração dos pesos, cada um deles é dividido pela soma de todos os pesos gerados, normalizando-os a fim de que a soma de todos seja 1;
- Etapa 2 - Geração da matriz de consequência: gera aleatoriamente os desempenhos de cada alternativa para cada critério, num intervalo entre 0 e 1, de acordo com uma distribuição uniforme, gerando uma matriz  $m$  por  $n$ ;
- Etapa 3 - Geração dos custos das alternativas: é gerado aleatoriamente o custo de cada alternativa entre 300 e 1000, de acordo com uma distribuição uniforme. Como limite da restrição, é considerado um orçamento equivalente a 50% da soma dos custos de todos os projetos;
- Etapa 4 - Cálculo dos pesos ROC de acordo com a ordenação dos “pesos verdadeiros”: Aplicando a equação 1, o peso ROC de cada critério é gerado de acordo com a ordem dos critérios definida pelos pesos reais;

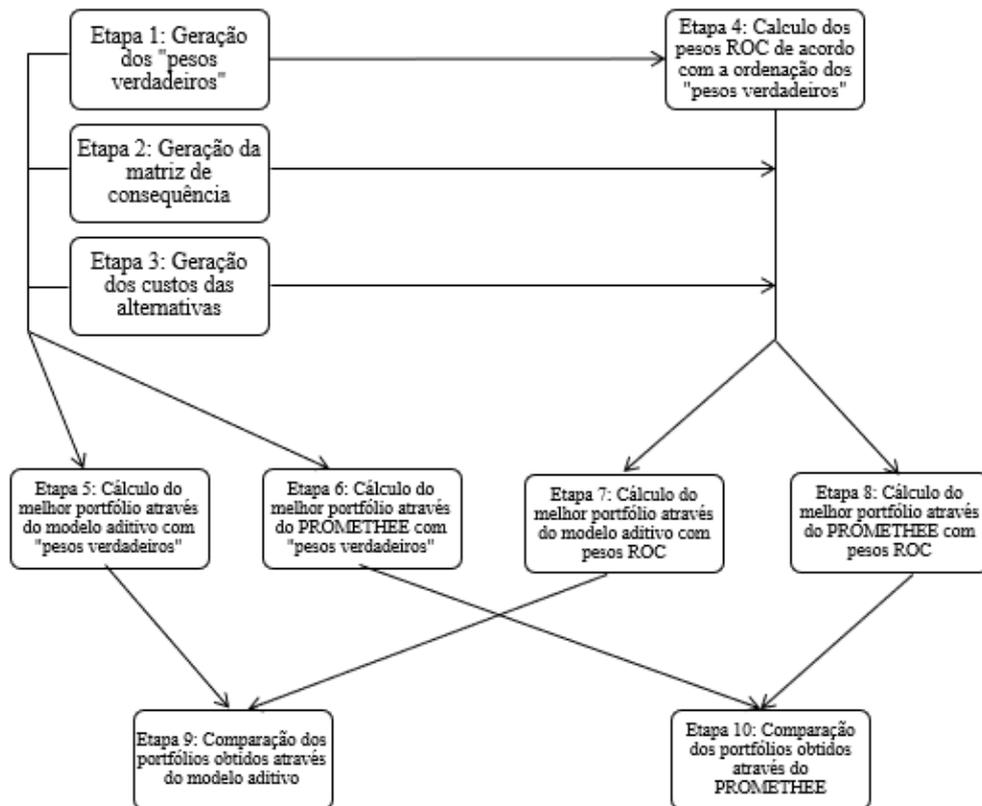


Figura 2: Simulação do problema de seleção de portfólio e aplicação dos modelos

- Etapa 5: Cálculo do melhor portfólio através do modelo aditivo com “pesos verdadeiros”: A matriz de consequência é normalizada de acordo com a equação 9. Em seguida é aplicada a equação 8 com a matriz valor, resultante da normalização, os “pesos verdadeiros” e a restrição gerada na etapa 3;
- Etapa 6: Cálculo do melhor portfólio através do PROMETHEE com “pesos verdadeiros”: A partir da matriz de consequência foram feitas comparações par a

par de acordo com a equação 2, considerando o critério usual e os “pesos verdadeiros”. Em seguida, calculado os fluxos positivos e negativos com as equações 3 e 4 respectivamente. Então, é calculado o fluxo líquido com a equação 5. Os fluxos líquidos são adaptados através da equação 10 e por fim, o portfólio a ser recomendado pela solução do modelo é encontrado através da aplicação da equação 7;

- Etapa 7: Cálculo do melhor portfólio através do modelo aditivo com pesos ROC: faz o mesmo procedimento da etapa 5, porém, ao invés de utilizar os "pesos verdadeiros" usa os pesos ROC;
- Etapa 8: Cálculo do melhor portfólio através do PROMETHEE com pesos ROC: faz o mesmo procedimento da etapa 6, porém usa-se os pesos ROC na equação 2, ao invés dos "pesos verdadeiros";
- Etapa 9: Comparação dos portfólios obtidos através do modelo aditivo: Verifica se os portfólios encontrados nas etapas 5 e 7 são iguais. Caso não seja, calcula-se o erro cometido pelo ROC. Para isso é calculado a diferença de valor entre os dois portfólios, para isso é considerado os "pesos verdadeiros" para calcular o valor real do portfólio recomendado pelo ROC;
- Etapa 10: Comparação dos portfólios obtidos através do PROMETHEE: Verifica se os portfólios encontrados nas etapas 6 e 8 são iguais. Caso não seja, calcula-se o erro cometido pelo ROC. Para isso é calculado a diferença de valor entre os dois portfólios, para isso é considerado os fluxos líquidos adaptados obtidos com os "pesos verdadeiros" para calcular o valor real do portfólio recomendado pelo PROMETHEE-ROC;

## 5. Discussão dos Resultados

Ao final da simulação foram identificados, tanto para o modelo aditivo quanto para o PROMETHEE, em quantos casos o modelo com o ROC não conseguiu encontrar a melhor solução, ou seja, a solução encontrada pelo respectivo modelo usando os “pesos verdadeiros”. Adicionalmente foi calculado o erro médio das soluções encontradas pelos modelos com o ROC nesses casos. As figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam os resultados da simulação para os 32 cenários identificados no início da seção 3.3.

A figura 3 apresenta os erros médios para os casos em que o Modelo aditivo com o ROC não encontrou a melhor solução. É possível perceber que o erro médio tende a cair com o aumento do número de projetos e do número de critérios considerados no problema. Nota-se que nos cenários com 10 alternativas, o erro médio do modelo aditivo com ROC aplicado a portfólio foi de 2,3% quando se considera 3 critérios e 1,5% quando se considera 9 critérios. Para os cenários com 100 alternativas, o erro médio foi de 0,85% quando se considera 3 critérios e 0,5% quando se considera 9 critérios.

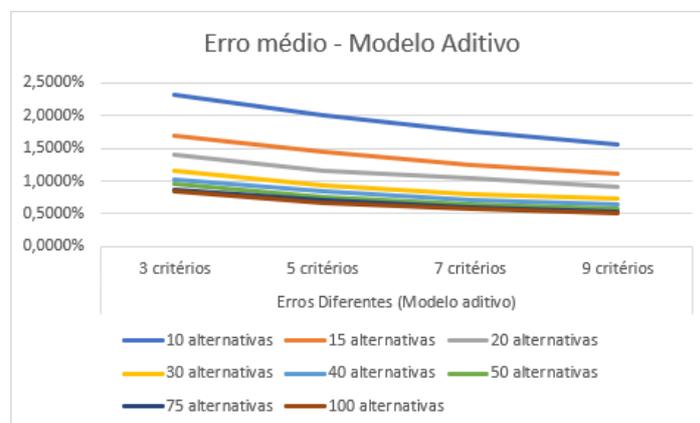


Figura 3: Taxa média de erro para aplicação do modelo aditivo com ROC para portfólio

A figura 4 apresenta o número de casos em que o modelo aditivo com ROC aplicado a portfólio não conseguiu encontrar a melhor solução, ou seja, o portfólio recomendado pelo modelo aditivo com os "pesos verdadeiros". É possível perceber que o número de casos em que o modelo aditivo com o ROC não encontra a melhor solução não sofre variação relevante com a mudança do número de critérios, no entanto aumenta consideravelmente com o aumento do número de alternativas consideradas no problema de seleção de portfólio. Para os cenários com 10 alternativas, o modelo aditivo com ROC não conseguiu encontrar a melhor solução em aproximadamente 31% dos dez mil casos, enquanto para 100 alternativas, isso ocorreu em aproximadamente 96% dos casos.

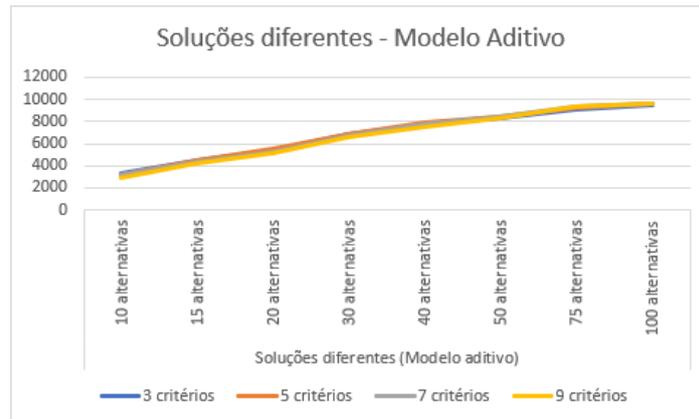


Figura 4: Frequência de soluções diferentes da melhor com aplicação do modelo aditivo com ROC para portfólio

A figura 5 apresenta os erros médios para os casos em que o PROMETHEE com o ROC não encontrou a melhor solução. É possível perceber que o erro médio tende a cair com o aumento do número de projetos e do número de critérios considerados no problema. Nota-se que nos cenários com 10 alternativas, o erro médio do PROMETHEE com ROC aplicado a portfólio foi de 2,6% quando se considera 3 critérios e 1,8% quando se considera 9 critérios. Para os cenários com 100 alternativas, o erro médio foi de 0,85% quando se considera 3 critérios e 0,51% quando se considera 9 critérios.

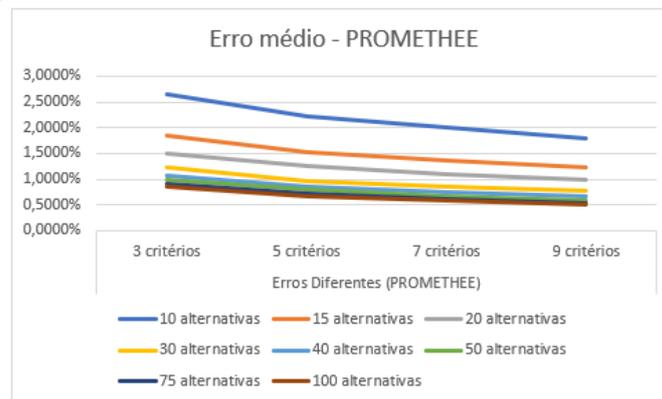


Figura 5: Taxa média de erro para aplicação do PROMETHEE com ROC para portfólio

A figura 6 apresenta o número de casos em que o PROMETHEE com ROC aplicado a portfólio não conseguiu encontrar a melhor solução, ou seja, o portfólio recomendado pelo PROMETHEE com os "pesos verdadeiros". É possível perceber que o número de casos em que o PROMETHEE com o ROC não encontra a melhor solução não sofre variação relevante com a mudança do número de critérios, no entanto aumenta consideravelmente com o aumento do número de alternativas consideradas no problema de seleção de portfólio. Para os cenários com 10 alternativas, o PROMETHEE com ROC não conseguiu encontrar a melhor solução em

aproximadamente 34% dos dez mil casos, enquanto para 100 alternativas, isso ocorreu em aproximadamente 96% dos casos.

É possível perceber uma semelhança forte entre os erros causados pelo ROC quando aplicado ao modelo aditivo e ao PROMETHEE. Isso pode ser devido à característica de função aditiva compartilhada por ambos, uma vez que o PROMETHEE pode ser representado como uma função aditiva dos fluxos intracritérios.

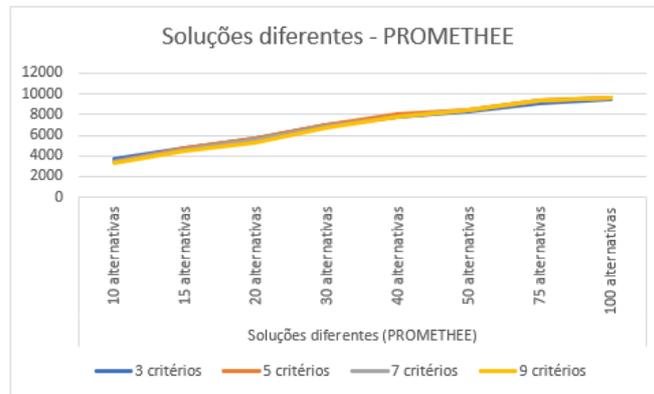


Figura 6: Frequência de soluções diferentes da melhor com aplicação do PROMETHEE com ROC para portfólio

## 6. Considerações finais

O presente trabalho apresentou uma análise do uso da abordagem *surrogate* ROC para o problema de seleção de projetos multicritério através de uma simulação Monte Carlo, com o objetivo de analisar o erro cometido. Estudos anteriores realizaram uma análise semelhante para a problemática de escolha, mas nenhum estudo foi encontrado na literatura considerando a problemática de portfólio, apesar de haver alguns poucos que apenas aplicaram o modelo aditivo com ROC sobre esse tipo de problema, sem fazer uma análise ampla do impacto do erro que essa abordagem *surrogate* pode gerar quando se compara com a solução obtida com os "pesos verdadeiros".

O uso de abordagens *surrogate* para obtenção dos pesos de um problema de decisão multicritério tem como objetivo simplificar o processo de elicitação, tornando mais fácil e rápido para o decisor a obtenção de tais parâmetros. É importante lembrar, no entanto que o termo "pesos verdadeiros" significa apenas que se assume por simplificação que esses pesos são precisos. Mesmo abordagens que realizam a obtenção dos "pesos verdadeiros" estão sujeitas a imprecisão devido a subjetividade da informação preferencial.

A simulação considerou 32 cenários, aplicando o ROC não apenas para o modelo aditivo, como também para o PROMETHEE, ambos adaptados para o problema de seleção de portfólio. A análise identificou que tanto para o modelo aditivo quanto para o PROMETHEE, o modelo com o ROC não conseguiu encontrar a melhor solução em aproximadamente 34% dos casos nos cenários com menos alternativas e 96% dos casos nos cenários com mais alternativas, porém a frequência de erro não pareceu sofrer influência relevante do número de critérios.

As taxas médias de erro dos modelos considerando os pesos ROC para portfólio, quando não encontraram a melhor solução variaram entre 0,5% e 2,6% a depender do cenário. Foi identificado que os erros tendem a cair com o aumento do número de critérios e mais alternativas. Considerando que a taxa de erro média do ROC para a problemática de escolha através do modelo aditivo é de 2%, o erro para portfólio na maior parte das vezes é inferior, o que demonstra que o uso dessa abordagem *surrogate* pode ser bastante vantajosa para problemas de seleção de portfólio.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro e institucional concedido.

## Referências

- Almeida-Filho, A. T.; Clemente, T. R. N.; Morais, D. C.; de Almeida, A. T. (2018). Preference modeling experiments with surrogate weighting procedures for the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*. 264, 2, 453-461.
- Aragão, J. P. S. e Fontana, M. E. (2018). Metodologia híbrida para seleção de portfólio de ações estratégicas na logística reversa. In: *anais do XXXVIII ENEGEP*, Maceió. ABEPRO.
- Barron F. H. (1992). Selecting a best multiattribute alternative with partial information about attributeweights. *Acta Psychol* 80(1-3):91-103.
- Barron, F.H. e Barrett, B.E. (1996). Decision quality using ranked attribute weights. *Management Science* 42(11), pp. 1515-1523.
- Belton, V. e Stewart, T. J. (2002). *Multicriteria decision analysis: an integrated approach*. Kluwer Academic Publishers.
- Brans, J.P., Vincke, Ph. e Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method. *European Journal of Operational Research* 24(2), pp. 228-238.
- Chien, C.-F. e Sainfort, F. (1998). Evaluating the desirability of meals: An illustrative multiattribute decision analysis procedure to assess portfolios with interdependent items. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 7(4), pp. 230-238.
- de Almeida, A.T. (2013). *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Atlas.
- de Almeida, J.A., de Almeida, A.T., Costa, A.P.C.S. (2014). Portfolio selection of information systems projects using PROMETHEE V with c-optimal concept. *Pesquisa Operacional* 34(2), pp. 275-299.
- Edwards, W. e Barron, F. H. (1994). SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, v. 60, p. 306-325.
- Kasim, M.M., Ibrahim, H., Bataineh, M.S.B. (2011). Multi-criteria decision making methods for determining computer preference index. *Journal of Information and Communication Technology* 10, pp. 137-148.
- Kirkwood, C. W. e Sarin, R. K. (1985). Ranking with partial information: A method and an application. *Operations Research* 33(1), pp. 38-48.
- Lopes, Y.G. e de Almeida, A.T. (2013). multicriteria decision model for selecting a portfolio of oil and gas exploration projects. *Pesquisa Operacional* 33(3), pp. 417-441.
- López, H.M.L. e de Almeida, A.T. (2014). Project portfolio selection in an electric utility company using PROMETHEE V | [Utilizando PROMETHEE V para seleção de portfólio de projetos de uma empresa de energia elétrica]. *Producao* 24(3), pp. 559-571.
- Martins, C.L., de Almeida, J.A., de Oliveira Bortoluzzi, M.B., de Almeida, A.T. (2016). Scaling issues in MCDM portfolio analysis with additive aggregation. *Lecture Notes in Business Information Processing* 250, pp. 100-110.
- Morais, D.C., de Almeida, A.T., Alencar, L.H., Clemente, T.R.N. e Cavalcanti, C.Z.B. (2015). PROMETHEE-ROC model for assessing the readiness of technology for generating energy. *Mathematical Problems in Engineering* 530615.
- PMI. (2013). *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos*. 5. ed. Newtown Square, Pennsylvania: Ed. Project Management Institute.
- PMI. (2017). *The Standard for Portfolio Management*. 4 ed. Newtown Square, Pennsylvania: Ed. Project Management Institute.

Ribeiro, A.M., Sadok, D., Brito, M.E., de Araújo, Á., Endo, P.T., Kelner, J. (2020). Comparative Analysis of Current Transducers for Development of Smart Plug through Rank Order Centroid Method. *IEEE Latin America Transactions* 18(1),9049472, pp. 147-155.

Roy, B. (1996). *Multicriteria methodology for decision aiding*. Kluwer Academic Publishers.

Vetschera, R. e de Almeida, A.T. (2012). A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Computers and Operations Research* 39(5), pp. 1010-1020.