LIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
Juiz de Fora, MG - 8 a 11 de novembro de 2022

PROPOSTA DO MÉTODO CRITIC-GRA-3N E DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA COMPUTACIONAL EM PYTHON

Isaque David Pereira de Almeida
Universidade Federal Fluminense - UFF
Rua Passo da Pátria 156, Boa Viagem – Niterói – RJ
Isaque.mestrado@gmail.com

Lucas Ramon dos Santos Hermogenes
Universidade Federal Fluminense - UFF
Rua Passo da Pátria 156, Boa Viagem – Niterói – RJ
lucas.hermogenes@outlook.com

Marcos dos Santos
Instituto Militar de Engenharia - IME
Praça Gen. Tibúrcio, nº80, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro – RJ
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br

Carlos Francisco Simões Gomes
Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, Boa Viagem – Niterói – RJ
Cfsg1@bol.com.br

RESUMO

O objetivo do presente artigo é apresentar uma análise explicativa do método de Apoio Multicritério à Decisão CRITIC-GRA-3N, junto com uma ferramenta computacional, produzida em Python. O peso é gerado pelo método *CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation* (CRITIC) e ordena as alternativas com o método *Grey Relational Analysis* (GRA), com três normalizações, disponibilizando cinco ordenações. A ferramenta desenvolvida possui o proposito de auxiliar o decisor na utilização do método, dessa forma tira a responsabilidade do usuário em ter a necessidade de aplicar todas as equações, bastando apenas inserir os dados do problema. Com a finalidade de apresentar o real funcionamento da ferramenta, foi retirado uma massa de dados, de um problema já resolvido, com a finalidade de comparar com os resultados obtidos com o *software*. A ferramenta proposta mostra ser robusta e eficaz, possibilitando assim a aplicação tanto em meio acadêmico, como, em organizações públicas ou privadas.

PALAVRAS-CHAVE. CRITIC-GRA-3N, CRITIC, GRA.
Tópico (ADM – Apoio à Decisão Multicritério)

ABSTRACT

The objective of this paper is to present an explanatory analysis of the Multicriteria Decision Support method CRITIC-GRA-3N, along with a computational tool, produced in Python. The weight is generated by the CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) method and orders the alternatives with the Grey Relational Analysis (GRA) method, with three normalizations, making five orders available. The tool developed has the purpose of helping the decision maker in the use of the method, thus removing the user's responsibility in having the need to apply all the equations, just by entering the problem data. In order to show how the tool really works, a mass of data was taken from an already solved problem, with the purpose of comparing it with the results obtained with the *software*. The proposed tool proves to be robust and effective, thus enabling its application both in academia and in public or private organizations.

KEYWORDS. CRITIC-GRA-3N, CRITIC, GRA.
Paper topics (MDS - Multicriteria Decision Support)

1. Introdução

A tomada de decisão está presente no cotidiano de pessoas e organizações, sempre sendo necessária para o estabelecimento e desenvolvimento de etapas futuras. Tomar uma decisão sempre é necessário quando um sujeito se encontra diante de um problema que possui mais que um meio para o resolver. Mesmo quando há apenas uma escolha para a resolução, o decisor tem a alternativa de tomar ou não a ação como solução [Gomes; Gomes, 2019].

Os métodos multicritério de apoio à decisão, podem ser compreendidos como técnicas que viabilizam a estruturação e análise de problemas complexos de avaliação de forma transparente, com a introdução de critérios quantitativos e qualitativos, em casos específicos, havendo trade-off entre eles. Esses métodos permitem as organizações estruturar um processo decisório, considerando vários aspectos de avaliação, tais como técnicos, socioeconômicos e ambientais por exemplo, em níveis operacionais e estratégicos para tomada de decisão [Greco *et al*., 2016].

O objetivo geral desse trabalho é apresentar a ferramenta computacional, produzida em Python, denominada como CRITIC-GRA-3N. Tal ferramenta tem por objetivo apoiar o tomador de decisão na ordenação das alternativas apresentadas, mediante alguns critérios estabelecidos.

Com a finalidade de apresentar a real funcionalidade da ferramenta computacional produzida, foi realizado a aplicação em um problema real já publicado. Foi retirado a massa de dados do artigo produzido por [Almeida *et al*. 2021], cujo título é "Processo seletivo de candidatos para compor a equipe do PROANTAR combinando o *Value-Focused Thinking* e os métodos CRITIC e GRA". Tal problema foi resolvido utilizando o método CRITIC-GRA, apresentando como resultado uma ordenação para auxiliar o decisor. Entretanto, a ferramenta proposta além de apresentar a mesma ordenação do artigo selecionado, entrega mais quatro ordenações possibilitando que o decisor tenha uma maior gama de material para analisar e apoiar na sua decisão.

2. Referencial Teórico

Na tomada de decisão, a Pesquisa Operacional (PO), por meio de seus métodos e metodologias, proporciona a análise de problemas complexos com embasamento técnico e científico, fornecendo sua estrutura, entendimento e viabilidade em situações específicas para fornecer uma solução vantajosa para determinado problema [Costa *et al*., 2021]

Tomar decisões é inerente da natureza humana. A tomada de decisões é considerada um processo cognitivo que resulta na escolha da alternativa que, dentre uma gama de possibilidades, melhor atende as necessidades impostas por uma dada situação, com base no conjunto de valores, preferências e crenças de um centro decisor [Tenório *et al*, 2019].

Os modelos AMD, naturais da PO, podem ser entendidos como técnicas que suportam e possibilitam a estruturação e avaliação de problemas complexos, mediante a introdução de critérios quantitativos e qualitativos [Almeida *et al*., 2015], muitas das vezes apresentando conflitos entre si [Gomes; Gomes, 2019].

2.1 PYTHON

Python é uma linguagem de programação de alto padrão que combina os paradigmas procedural, funcional e orientado a objetos. A linguagem é muito utilizada por programadores profissionais e é muito utilizada como primeira linguagem em cursos de introdução a programação. A linguagem Python vem se mostrando uma alternativa viável, comparando-a a linguagens mais tradicionais, com C, C++ e Java por exemplo (Jesus *et al*, 2019).

3. Método CRITIC-GRA-3N

O método híbrido CRITIC-GRA-3N é um método onde são fundidos dois métodos multicritérios robustos, juntamente com três distintas normalizações, com a finalidade de buscar um resultado mais próximo da realidade possível. Os pesos são gerados pelo método *CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation* (CRITIC), em seguida ordena-se as alternativas pelo método *Grey Relational Analysis* (GRA) e as normalizações.

O referido método é um método não compensatório, propostos especialmente para problemas do tipo P. γ. Tendo ao final de sua aplicação, o resultado de cinco ordenações, onde as três primeiras fazem referencia a junção do método CRITIC-GRA, CRITIC-GRA com a segunda normalização e a ponderação da segunda normalização com o peso e as duas últimas ordenações são a média aritmética e média geométrica das três primeiras ordenações normalizadas.

3.1 Método *Criteria Importance Through Intercriteria Correlation* (CRITIC)

De acordo com [WANG; ZHAO, 2016], o método CRITIC foi proposto por D. Diakoulaki em 1995, que visa a determinação de pesos objetivos de importância relativa em problemas de método de decisão de múltiplos critérios.

Segundo [Pan *et al*. 2021], o método CRITIC define os pesos baseado em dois conceitos: o tamanho do desvio padrão que indica o tamanho da discrepância entre os valores de cada esquema dentro do mesmo indicador; e o segundo é o caráter conflitante dos critérios de avaliação, com base na correlação entre índices.

A primeira definição se dá pela criação da matriz de decisão (1), onde os rij são valores dos atributos:

$$M = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}_{\text{mxn}} \quad (1)$$

As etapas passo-a-passo do método são apresentadas segundo [Alinezhad *et al*. 2019]:

a) A normalização para critérios monotônicos de lucro se dá pela equação (2), assim como para critérios monotônicos de custo se dá pela equação (3):

$$X_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^-}{r_i^+ - r_i^-}; \quad i = 1, \ldots, m, \qquad j = 1, \ldots, n \quad (2)$$

$$X_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^+}{r_i^- - r_i^+}; \quad i = 1, \ldots, m, \qquad j = 1, \ldots, n \quad (3)$$

b) O coeficiente de correlação entre atributos é determinado pela equação (4):

$$\rho jk = \frac{\sum_{i=1}^{m}(x_{ij} - \bar{x}_j).(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(x_{ij} - \bar{x}_j)^2 . \sum_{i=1}^{m}(x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (4)$$

Onde $\bar{xj}$ e $\bar{xk}$ representam a média dos atributos jth e kth. $\bar{xj}$ é calculado a partir de equação (5) logo abaixo. Da mesma forma, é obtido para $\bar{xk}$:

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} X_{ij}; \quad i = 1, \ldots, m \quad (5)$$

c) Obter o índice C. Em primeiro lugar, o desvio padrão de cada atributo é estimado pela equação (6), seguindo com o cálculo do índice pela equação (7):

$$\sigma j = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(x_{ij} - \bar{x}_j)^2}; \quad i = 1, \ldots, m \quad (6)$$

$$C_j = \sigma_j . \sum_{k=1}^{n} (1 - \rho jk); \quad j = 1, \ldots, n \tag{7}$$

d) Os pesos dos atributos são determinados pela equação (8):

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^{n} C_j}; \quad j = 1, \ldots, n \tag{8}$$

3.2 Método *Grey Relational Analysis* (GRA)

O modelo GRA mais antigo foi introduzido pelo Professor Deng Julong em 1982 e ainda é o mais influente. Segundo [Aydin *et al*. 2010], o processo pode ser separado em dois grandes grupos. O primeiro é a normalização dos dados de um conjunto conhecido. Em seguida com base nos dados normalizados é calculado o Coeficiente Relacional Cinza, com os valores estabelecidos entre uma métrica ideal e os valores reais. Ao final obtém-se o *Grey Relational Grade* (GRG).

Segundo [Rao 2010], o método GRA consiste na execução das seguintes equações:

a) Construção e normalização da Matriz Decisão. A normalização para critérios monotônicos de lucro e monotônico de custo se dá, respectivamente, pelas equações (9) e (10):

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \min(y_{ij})}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} \tag{9}$$

$$x_{ij} = \frac{\max(y_{ij}) - y_{ij}}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} \tag{10}$$

b) É gerada a Sequência de Referência (11):

$$(x_{01}, x_{02}, \ldots, x_{0j}, \ldots, x_{0n}) = (1, 1, \ldots, 1, \ldots, 1), \tag{11}$$

c) O coeficiente relacional cinza pode ser calculado por (12):

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{(\Delta_{min} + \xi \Delta_{max})}{(\Delta_{ij} + \xi \Delta_{max})} \tag{12}$$

d) O Grau Relacional Cinza: é uma soma ponderada dos coeficientes relacionais cinza e pode ser calculado usando (13), obtendo-se o ranqueamento das alternativas:

$$\Gamma(X_0, X_i) = \sum_{j=1}^{n} w_j \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \tag{13}$$

3.3 Segunda Normalização

Segundo [Santos e Santos 2021], é utilizado a normalização baseada na hipótese de que os valores estabelecidos pelos atributos se comportam de forma Gaussiana dentro de cada critério. Logo, para cada critério cj pertencente ao conjunto dos Critérios (C), a média µj e o desvio padrão σj, dos atributos rij, são calculados.

A matriz utilizada para segunda normalização é a mesma utilizada nos métodos CRITIC e GRA (1).

A probabilidade P de um atributo qualquer x ser menor ou igual a rij, representa o elemento pij da Matriz de Decisão Normalizada N (14).

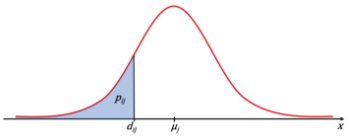
$$N = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & \cdots & p_{mn} \end{pmatrix}_{mxn} \tag{14}$$

Segundo [Park 2017], essa probabilidade pij se dá pela (15):

$$p_{ij} = F(x) = F(x \le r_{ij}) = \int_{-\infty}^{r_{ij}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda-\mu}{\sigma}\right)^2} d\lambda \tag{15}$$

Em uma apresentação gráfica, pij é a área abaixo da curva Gaussiana, definida pela média μj e pelo desvio padrão σj, limitada à direita por dij, como na Figura 1.

Figura 1 – pij sendo representado graficamente



Fonte: [Santos e Santos 2021]

3.4 Terceira Normalização

A terceira normalização se dá pela necessidade de se construir as duas últimas ordenações, as quais fazem referência a média aritmética e a média geométrica. As três primeiras ordenações são obtidas pelos resultados dos seguintes métodos: 1 – CRITIC-GRA; 2 – CRITIC-GRA (com a segunda normalização); e 3 – Soma produto do peso obtido pelo método CRITIC e a matriz gerada pela segunda normalização.

Nesse momento é utilizado a equação (16), com a finalidade de normalizar, mantendo as proporcionalidades, as três primeiras ordenações separadamente.

$$\frac{a_{ij}}{\sum a_{ij}} \tag{16}$$

Após a normalização aplica-se as médias aritméticas e geométricas para obter-se as duas últimas ordenações.

3.5 Geração dos Ranqueamentos Etapas do método CRITIC-GRA-3N

1° – Ranqueamento: União do método híbrido CRITIC-GRA.

O primeiro ranqueamento ocorrerá pela aplicação de todos os passos contidos no método CRITIC, subitem 3.1, obtendo assim o peso. Em seguida será aplicado todos os passos contidos no método GRA, subitem 3.2.

2° – Ranqueamento: União do método CRITIC e do método GRA, com a troca da normalização nativa pela segunda normalização estabelecida pelo subitem 3.3.

O segundo ranqueamento ocorrerá pela aplicação de todos os passos contidos no método CRITIC, subitem 3.1, obtendo assim o peso. Em seguida será aplicado o método GRA com a alteração da normalização nativa, no passo a) do subitem 3.2, para normalização estabelecida no subitem 3.3. Dando continuidade, porém, em todos os passos restantes do método GRA.

3° – Ranqueamento: Agregação dos pesos gerados pelo método CRITIC e a normalização estabelecida pelo subitem 3.3.

Para o terceiro ranqueamento será aplicado todos os passos do método CRITIC, subitem 3.1, obtendo-se o peso. Então, será realizado uma agregação desses pesos com a matriz normalizada como descrito no subitem 3.3.

Cabe ressaltar que nesse ranqueamento não será aplicado nenhum dos passos existentes no método GRA. Sendo assim, o terceiro ranqueamento se dá pela agregação do peso com a matriz normalizada descrita no subitem 3.3.

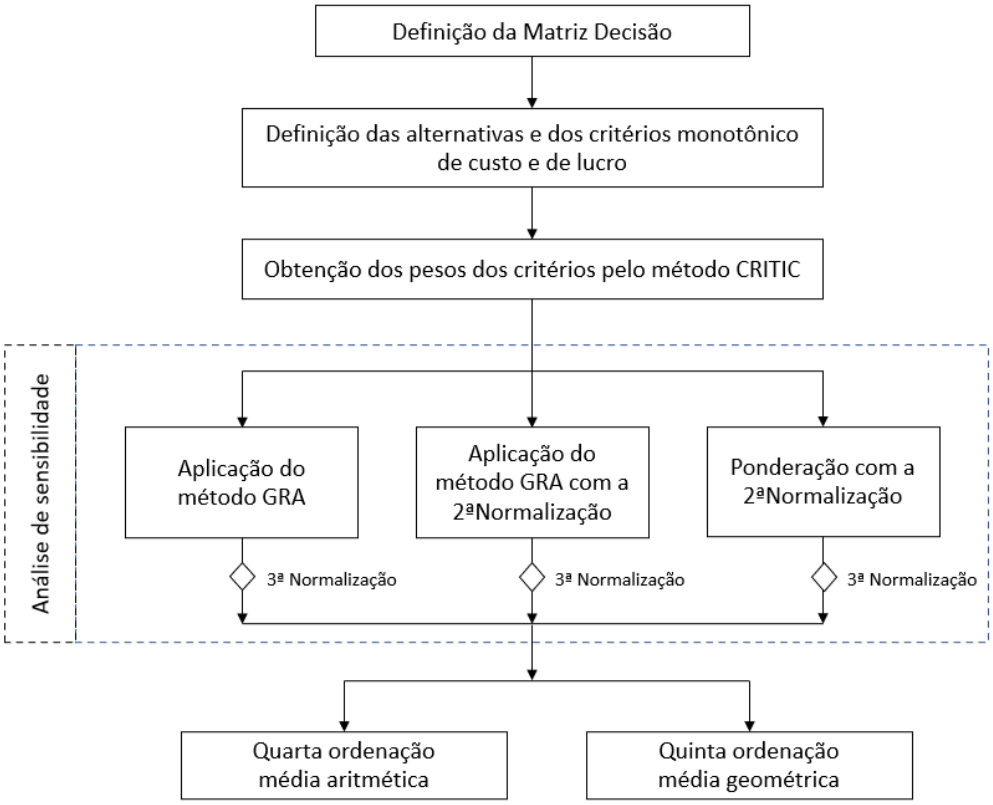
4° – Ranqueamento: o quarto ranqueamento se dá pela média aritmética das primeiras três ordenações, normalizadas.

5° – Ranqueamento: o quinto, e último, ranqueamento se dá pela média geométrica das três primeiras ordenações, normalizadas.

A normalização descrita no quarto e quinto ranqueamento, para cada um dos três primeiros ranqueamento, será efetuado mediante o passo seguido no subitem 3.4.

Com o intuito de facilitar o processo de entendimento foi criado um fluxograma com os passos descritos anteriormente, Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma do método CRITIC-GRA-3N



Fonte: Autores [2022]

3.6 Etapas do método CRITIC-GRA-3N

Nesse item será apresentado as etapas para realizar o calcular o método CRITIC-GRA-3N. A união desses dois métodos, com três normalizações, possibilita um auxílio para o decisor quando se dispõe de um problema multicritério que necessite ser inserido pesos e ordenar as alternativas, sem a subjetivação da apresentação dos pesos dos critérios.

A fim de que consiga chegar em um resultado robusto, o método CRITIC-GRA-3N apresenta, ao final do seu processo, cinco ordenações das alternativas. Essas ordenações podem ser separadas em dois grupos, sendo o primeiro as três primeiras ordenações e o segundo as duas últimas ordenações. Essa separação pode ser observada da seguinte forma:

• Primeiro grupo – O método permite uma análise de sensibilidade apurada, onde entrega três ordenações calculadas com axiomáticas distintas. Essas ordenações se mostram robustas e consolidadas, pois permitem que o decisor tenha uma visão aprofundada da solução do problema, auxiliando no momento da tomada de decisão.

• Segundo grupo – Ao final, o método permite que o decisor escolha ser assessorado pelas três ordenações apresentadas inicialmente ou, simplesmente, escolha analisar apenas a quarta e a quinta ordenação que é gerada pela média aritmética e média geométrica das três primeiras ordenações normalizadas.

De forma geral, o método CRITIC-GRA-3N pode ser dividido em oito passos:

1º Passo – Definição da Matriz de Decisão.

2º Passo – Definição das alternativas e dos critérios monotônico de lucro e de custo.

3º Passo – Definição dos pesos mediante a aplicação do método CRITIC.

4º Passo – Aplicação do método GRA, utilizando os pesos dos critérios gerados pelo método CRITIC, obtendo a primeira ordenação.

5º Passo – Aplicando o método GRA com a segunda normalização, utilizando os pesos gerados pelo método CRITIC, obtendo a segunda ordenação.

6º Passo – Utilizando a soma dos produtos da matriz gerada pela segunda normalização com os pesos gerados pelo método CRITIC, obtendo a terceira ordenação.

7º Passo – Normalizar as três primeiras ordenações, com a terceira normalização para cada critério, e ao final realizar a Média Aritmética para cada alternativa.

8º Passo – Normalizar as três primeiras ordenações, com a terceira normalização para cada critério, e ao final realizar a Média Geométrica para cada alternativa.

4. Apresentação do Problema

Segundo [Almeida *et al*. 2021], a escolha de um Oficial da Marinha do Brasil para compor uma determinada função no Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) é uma tarefa complexa por envolver uma ordenação de alguns oficiais, respeitando alguns critérios básicos. Para isso, os autores escolheram o método CRITIC para geração de Pesos desses critérios e o método GRA para ordenação dos candidatos concorrentes.

Após alguns procedimentos, foram estabelecidos como critérios monotônico de lucro: C_1 – Nota no Teste de Aptidão Física (TAF); C_2 – Conceito; C_3 – Dias de Mar; e C_4 – Dias de Embarque. Da mesma forma, foram escolhidos como critérios monotônico de custo: C_5 – Dias de exterior; e C_6 – Comorbidades.

Foram apresentados seis Oficiais voluntários que, para conservação das identidades, foram identificados como: Of-1, Of-2, Of-3, Of-4, Of-5 e Of-6.

5. Execução do Programa CRITIC-GRA-3N

Segundo [Cinelli *et al* 2020], a disponibilidade de *software* de implementação de métodos Apoio Multicritério a Decisão (AMD) teve um efeito notável na utilização de certos métodos. De fato, não é raro, que os analistas/decisores procurem *software* que implemente a abordagem selecionada.

O desenvolvimento de *software* é uma atividade exigente (em termos de custo e tempo). Como resultado, muitos métodos não são implementados em ferramentas autónomas, o que pode dificultar a sua aplicabilidade em várias áreas [Cinelli *et al*., 2020]. Buscando mitigar essa dificuldade, foi criado o *software* CRITIC-GRA-3N na linguagem PYTHON, o qual foi utilizado para calcular os resultados do problema.

O programa apresenta, quando iniciado, as etapas que estruturam a execução do método CRITIC-GRA-3N, logo em seguida é solicitado ao usuário a inserção do número de alternativas e de critérios que serão utilizados no dado problema.

Na Figura 3 está apresentado a inserção da quantidade de alternativas e de critério.

Figura 3 – Tela inicial do Programa CRITIC-GRA-3N

```
================================================================ Método CRITIC-GRA-3N ================================================================

Esse método é utlizado para dar apoio ao tomador de decisão gerando peso (pelo "CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation") para cada
critério escolhido, em seguida ordena as alternativas (pelo "Grey Relational Analysis") utilizando duas normalizações diferentes.

Ao final será entregue quatro ordenações seguindo a sequência:
1ª - CRITIC-GRA;
2ª - CRITIC-GRA com a 2ªNormalização;
3ª - Ponderação da Matriz normalizada com a 2ªNormalização e o peso;
4ª - Média Aritmética das três primeiras ordenações Normalizadas; e
5ª - Média Geométrica das três primeiras ordenações Normalizadas.


Olá, o método GRA-CRITIC-3N será executado por etapas, são elas:

    1º Construção da matriz (Alternativas X Critérios);
    2º Gerar peso para cada Crtitério através do método CRITIC;
    3º Aplicação do método GRA com a inclusão dos pesos gerados pelo método CRITIC;
    4º Aplicação da segunda Normalização baseada na atitude Gaussiana (seus valores serão normalizados
baseado na presunção de que eles se comportam de forma Gaussiana dentro de cada critério.);
    5º Aplicação do GRA utilizando a segunda normalização;
    6º Ponderação da segunda normalização com o peso gerado pelo método CRITIC;
    7º Ordenação das Alternativas para cada aplicação (Gerando três ordenação);
    8º Aplicar a Terceira Normalização, para cada ordenação gerada separadamente;
    9º Calcular a média aritmética das três ordenações normalizadas e gerar a Ordenação da Média Aritmética (Gerando a quarta ordenação);
    10º Calcular a média geométrica das três ordenações normalizadas e gerar a Ordenação da Média Geométrica (Gerando a quinta ordenação);
    11º Avaliação dos resultados obtidos.


Para citar este software:

Almeida, Isaque David Pereira; Hermogenes, Lucas Ramon dos Santos; Gomes, Carlos Francisco Simões.; Santos, Marcos dos.
CRITIC-GRA-3N For Decision Making (v1), Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2022.
```

Fonte: Autores [2022]

A Figura 4 apresenta como se estrutura a solicitação da inserção da quantidade de alternativas e de critério.

Figura 4 – Inserção da quantidade de alternativas e critérios

```
======== Inserindo o número de Alternativas e Critérios  ============

============ Inserindo o número de Alternativas  =================

Digite o número de alternativas: 6
O número de alternativas é: 6. Esta correto (S/N)? S
O número de alternativas escolhido foi: 6

============= Inserindo o número de Critérios  ==================

Digite o número de critérios: 6
O número de critérios é: 6. Está correto (S/N)? S
O número de critérios escolhido foi: 6
```

Fonte: Autores [2022]

Em seguida é inserido os nomes das alternativas e posteriormente dos critérios, assim como a descrição, para cada critério, da sua condição se monotônico de custo ou lucro, Figura 5.

Figura 5 – Inserção dos nomes das alternativas e critérios

```
========================================= INSIRA OS NOMES DAS ALTERNATIVAS  =========================================

    Insira um nome para o Alternativa A1: Of-1

    Insira um nome para o Alternativa A2: Of-2

    Insira um nome para o Alternativa A3: Of-3

    Insira um nome para o Alternativa A4: Of-4

    Insira um nome para o Alternativa A5: Of-5

    Insira um nome para o Alternativa A6: Of-6

========================================= INSIRA OS NOMES DOS CRITÉRIOS =========================================

Obs.: Após cada nome será solicitado a identificação do Critério quanto a Lucro ou Custo.
Entende-se como critério monotonico de Lucro aquele que se estabelece quanto maior o valor, melhor será o critério.
O critério monotonico de Custo é o inverso.

    Insira um nome para o critério C1 : C1
Informar se o Critério C1 é Monotônico de Lucro (L) ou Custo (C): L

    Insira um nome para o critério C2 : C2
Informar se o Critério C2 é Monotônico de Lucro (L) ou Custo (C): L

    Insira um nome para o critério C3 : C3
Informar se o Critério C3 é Monotônico de Lucro (L) ou Custo (C): L

    Insira um nome para o critério C4 : C4
Informar se o Critério C4 é Monotônico de Lucro (L) ou Custo (C): L

    Insira um nome para o critério C5 : C5
Informar se o Critério C5 é Monotônico de Lucro (L) ou Custo (C): C

    Insira um nome para o critério C6 : C6
Informar se o Critério C6 é Monotônico de Lucro (L) ou Custo (C): C
```

Fonte: Autores [2022]

O Penúltimo passo, para o analista que está inserindo os dados, é a inserção do coeficiente de distinção. Tal coeficiente é responsável pelo distanciamento dos resultados finais na ordenação. O valor deverá estar entre]0,1], sendo usual a utilização do valor 0,87, como Figura 6.

Figura 6 – Inserção do Coeficiente de Distinção

```
====================================== INSIRA O VALOR DO COEFICIENTE DE DISTINÇÃO ======================================


-=-=-=
```

```
        Of-1
C1    10.000
C2     9.856
C3   226.000
C4  2124.000
C5    24.000
C6    60.000
Os dados inseridos para Alternativa Of-1 estão corretos? (S/N) S
```

Fonte: Autores [2022]

Após inserir todos os valores dos critérios para todas as alternativas é apresentado o último questionamento para verificação geral dos dados inseridos. Caso estejam corretos deverá digitar “S”, caso contrário digite “N”. Digitando “N”, aparecerá uma informação de que todos os dados da Matriz de decisão serão apagados. Para permanecer com os mesmos valores digite “N”, caso contrário digite “S” para iniciar a inserção de todos os dados da Matriz de Decisão, Figura 9.

Figura 9 – Verificação dos valores da Matriz de Decisão

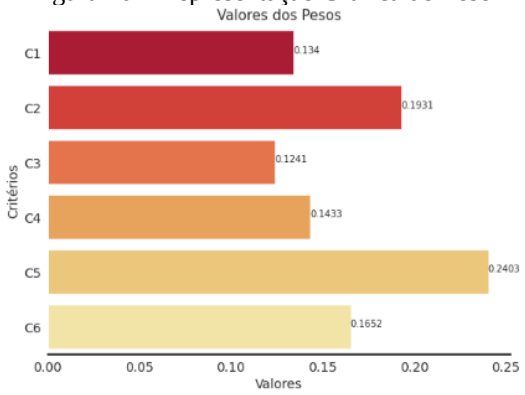
```
          C1     C2     C3      C4     C5     C6
Of-1  10.0  9.856  226.0  2124.0   24.0   60.0
Of-2   9.5  9.350   56.5  1035.0    0.0    0.0
Of-3  10.0  9.720   42.5  1268.0    0.0  110.0
Of-4  10.0  9.500  350.0  2215.0  120.0   10.0
Of-5  10.0  9.400  230.0  2037.0  110.0    0.0
Of-6   9.0  9.900  170.0  2005.0  113.0  150.0

Os dados inseridos na matriz estão corretos? (S/N) S
```

Fonte: Autores [2022]

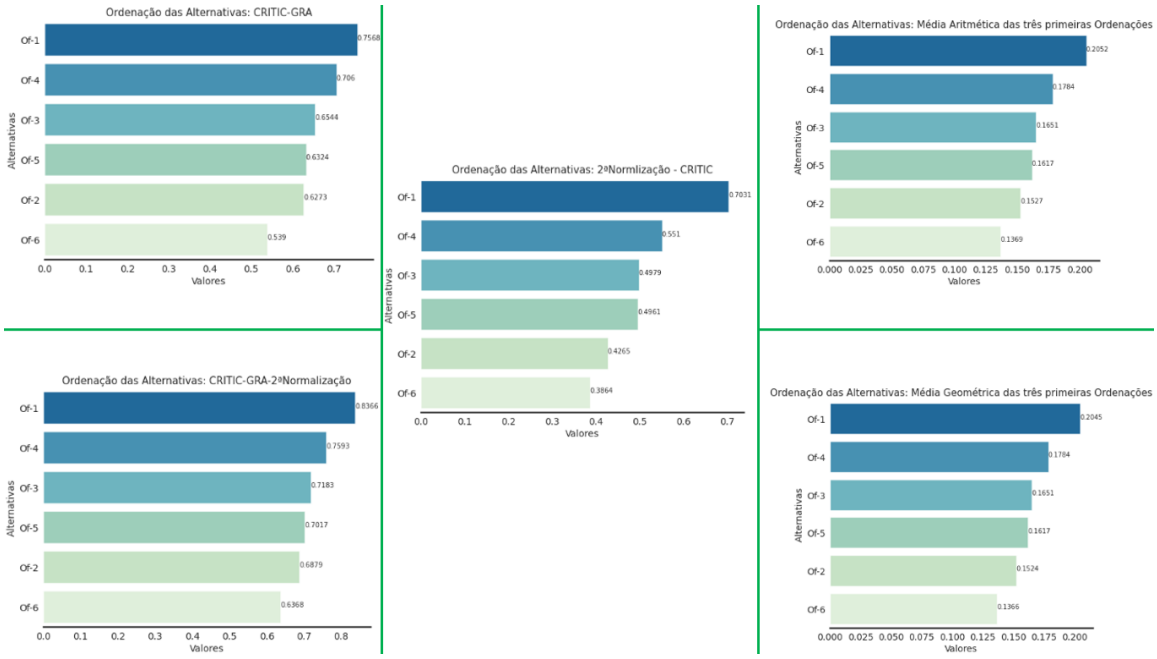
Após a aplicação descrita nos passos supracitados, o *software* fará todos os cálculos descritos na seção 3. Em seguida, será apesentado os gráficos dos resultados obtido para cada ordenação, sendo: 1 – Peso, Figura 10; e na Figura 11: 2 – CRITIC-GRA; 3 – CRITIC-GRA-2N; 4 – Segunda Normalização – Peso; 5 – Média Aritmética dos resultados; e 6 – Média Geométrica dos resultados.

Figura 10 – Representação Gráfica do Peso



Fonte: Autores [2022]

Figura 11 – Representação Gráfica das Ordenações



Fonte: Autores [2022]

Ao Final, será apresentado uma Matriz com cinco ordenações, Figura 12. Para uma melhor visualização foi marcado o conjunto de resultados por cores, da seguinte forma: Vermelha – CRITIC-GRA; Azul – CRITIC-GRA-2ªNormalização; Amarelo – 2ªNormalização com o Peso; Laranja – Média Aritmética; e Cinza – Média Geométrica.

Figura 12 – Resultado das Ordenações

	GRA	Ordenação	Res_2	GRA_2N	Ord_2	Res_3	Peso_2N	Ord_3	Res_4	Média_Ar	Ord_4	Res_5	Média_Geo	Ord_5
Of-1	0.756750	1	Of-1	0.836559	1	Of-1	0.703072	1	Of-1	0.205228	1	Of-1	0.204525	1
Of-4	0.705965	2	Of-4	0.759321	2	Of-4	0.551023	2	Of-4	0.178415	2	Of-4	0.178398	2
Of-3	0.654359	3	Of-3	0.718265	3	Of-3	0.497867	3	Of-3	0.165081	3	Of-3	0.165070	3
Of-5	0.632356	4	Of-5	0.701713	4	Of-5	0.496076	4	Of-5	0.161741	4	Of-5	0.161741	4
Of-2	0.627291	5	Of-2	0.687868	5	Of-2	0.426513	5	Of-2	0.152672	5	Of-2	0.152370	5
Of-6	0.539023	6	Of-6	0.636757	6	Of-6	0.386391	6	Of-6	0.136863	6	Of-6	0.136605	6

Fonte: Autores [2022]

Segundo [Almeida *et al*. 2021], os resultados obtidos no artigo foram: 1 – Peso, Figura 13; e 2 – Resultado CRITIC-GRA, Figura 14.

Figura 13 – Resultado do Peso calculado pelo Artigo

	Lucro C1	Lucro C2	Lucro C3	Lucro C4	Custo C5	Custo C6
Wj	0,1340332	0,1930728	0,1240631	0,1433441	0,2402776	0,1652087
Wj(%)	13%	19%	12%	14%	24%	17%

Fonte: [Almeida *et al*. 2021]

Figura 14 – Resultado das Ordenações calculado pelo Artigo

Grau Relacional Cinza		Ordenação
Of-1	0,7567503	1
Of-2	0,6272910	5
Of-3	0,6543590	3
Of-4	0,705965	2
Of-5	0,6323562	4
Of-6	0,5390225	6

Fonte: [Almeida *et al*. 2021]

6. Análise de Resultados

Como esperado, a apresentação dos pesos, no artigo e na aplicação do *Software*, foi igual. O *software*, além de apresentar os valores para os pesos dos critérios, ainda apresenta um gráfico para melhor retratar os valores calculados, fazendo com que a leitura dos valores seja feita de forma mais intuitiva.

Da mesma forma, o resultado obtido para ordenação das alternativas, tanto no artigo quanto na apresentação do software, foram os mesmos. Entretanto, a forma de representação do resultado foi alterado pelo *software*, fazendo com que a representação da ordenação fosse feita de forma decrescente, do melhor resultado para o pior. Facilitando, assim, no momento de analisar as alternativas que melhor foram classificadas.

Além da apresentação do resultado do método CRITIC-GRA, o *software*, possibilitou a representação de mais quatro ordenações, mediante a inclusão de outros métodos no processo de resolução gerado pelo método CRITIC-GRA-3N. Tais resultados elevam, sobremaneira, a confiabilidade das ordenações alcançadas, uma vez que resulta em uma quantidade maior de dados para apoio ao decisor.

Outro ponto importante são as representações gráficas de cada ordenação, o que possibilita a melhor identificação de cada resultado. Vale ressaltar que o tempo para obter os resultados na utilização do software se limita apenas no tempo necessária para inclusão dos dados, uma vez que todos os cálculos são realizados de forma automática. Contudo, caso fosse realizar todos os cálculos de forma manual, além de existir a possibilidade de gerar erros por alguma falha de cálculo, ainda teria um consumo de tempo demasiadamente maior, o que limitaria a utilização do referido método em problemas complexos com muitas alternativas e critérios.

7. Conclusão

Além da demonstração do manuseio do *software*, este artigo pode expor os importantes resultados que possibilitarão auxiliar, de uma forma mais clara em qualquer tipo de problema, o decisor na tomada de decisão. Portanto, o presente artigo teve o objetivo alcançado quanto a apresentação da ferramenta computacional do método CRITIC-GRA-3N.

O *software* do método CRITIC-GRA-3N se mostrou robusto na resolução de problemas, uma vez que apresenta cinco ordenações, além de calcular os pesos para cada critério, sem a necessidade de que o decisor tenha o conhecimento de todos os cálculos matemáticos que internamente envolvem o método.

A possibilidade de se utilizar o *software* para aplicação do método é de grande importância, uma vez que permite uma maior celeridade, não necessitando da realização dos cálculos, e a consequente diminuição na geração de erros, pela menor quantidade de manuseio dos dados, uma vez que só se faz necessário a inclusão dos dados iniciais.

Referências

ALINEZHAD, A.; KHALILI, J. (2019). CRITIC method. In: New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM). Springer. p. 199–203.

ALMEIDA, A. T. DE *et al.* (2015). Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis. Springer. v. 231

Almeida *et al*. (2021). Processo seletivo de candidatos para compor a equipe do PROANTAR combinando o Value-Focused Thinking e os métodos CRITIC e GRA. XXVIII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP. Available from: https://www.researchgate.net/publication/355077974_Processo_seletivo_de_candidatos_para_compor_a_equipe_do_PROANTAR_combinando_o_Value-Focused_Thinking_e_os_metodos_CRITIC_e_GRA. Acessado em 20 Mai 2022.

AYDIN, H. *et al*. (2010). Application of grey relation analysis (GRA) and Taguchi method for the parametric optimization of friction stir welding (FSW) process. Mater Tehnol, v. 44, p. 205.

CINELLI, M. *et al*. (2020). How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. Omega, v. 96, p. 102261, out. doi: 10.1016/j.omega.2020.102261

Costa, I. P. de A., Sanseverino, A. M. ., Barcelos, M. R. dos S., Belderrain, M. C. N. . ., Gomes, C. F. S., & Santos, M. dos. (2021). Choosing flying hospitals in the fight against the COVID-19 pandemic: structuring and modeling a complex problem using the VFT and ELECTRE-MOr methods. IEEE Latin America Transactions, 19(6), 1099–1106. Retrieved from https://latamt.ieeer9.org/index.php/transactions/article/view/4775

GOMES, L.; GOMES, C. F. S. (2019) Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério. 6a Edição. Rio de Janeiro: Atlas.

GRECO, Salvatore; FIGUEIRA, José; EHRGOTT, Matthias (2016). Multiple criteria decision analysis. New York: Springer.

JESUS, Camille; SANTANA, Bianca; BITTENCOURT, Roberto (2019). Oficinas de Aprendizagem de Programação com Scratch e Python em um Curso de Engenharia de Computação. In: Anais do XXVII Workshop sobre Educação em Computação. SBC. p. 31-40.

PAN, B. *et al*. (2021) Evaluating operational features of three unconventional intersections under heavy traffic based on CRITIC method. Sustainability, v. 13, n. 8, p. 4098.

PARK, K. I. (2017) Fundamentals of probability and stochastic processes with applications to communications. Holmdel, NJ, United States: Springer International Publishing.

RAO, R. V. (2010) Advanced modeling and optimization of manufacturing processes: international research and development.

SANTOS, F. B.; SANTOS, M. (2021) PRIORIDADE OBSERVADA A PARTIR DA PRESUNÇÃO DE ATITUDE GAUSSIANA DAS ALTERNATIVAS (PrOPPAGA):: PROPOSTA AXIOMÁTICA E DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA UM NOVO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO. Revista SIMEP, v. 1, n. 1.

TENÓRIO, F. M.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. (2019). Revisitando o método THOR: uma pesquisa bibliométrica. SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA

MARINHA, v. 19.

WANG, D.; ZHAO, J. Design optimization of mechanical properties of ceramic tool material during turning of ultra-high-strength steel 300M with AHP and CRITIC method. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 84, n. 9, p. 2381–2390, 2016. doi: 10.1007/s00170-015-7903-7