

**CONTRIBUIÇÕES EM ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA O PROCESSO DE
TOMADA DE DECISÃO NA MARINHA DO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO
PARA O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA AMAZÔNIA AZUL**

*CONTRIBUTIONS IN MULTICRITERIA ANALYSIS TO THE DECISION-MAKING
PROCESS IN THE BRAZILIAN NAVY: A CASE STUDY FOR THE BLUE AMAZON
MANAGEMENT SYSTEM*

CARLOS ALEXANDRE DE ARAUJO
UERJ

NIVAL NUNES DE ALMEIDA

Comunicação:

O XIII SINGEP foi realizado em conjunto com a 13th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

CONTRIBUIÇÕES EM ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO NA MARINHA DO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO PARA O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA AMAZÔNIA AZUL

Objetivo do estudo

Avaliar, por meio de simulação computacional, um modelo de Análise Multicritério à Tomada de Decisão na seleção de uma empresa que represente uma solução de compromisso (trade-off) para o desenvolvimento da fase estruturante do SisGAAz.

Relevância/originalidade

Este estudo é para promover uma estratégias eficazes para seleção de empresas para a estruturação do SisGAAz com base em uma metodologia consagrada, pois o sucesso das políticas públicas depende da melhoria dos processos político-administrativos, facilitando a execução de ações estratégicas.

Metodologia/abordagem

A simulação proposta será voltada para a seleção da melhor Alternativa (Empresa Trade-Off), segundo a ponderação de Critérios de Decisão e de Empresas Candidatas, que possam ser contratadas, via ETEC, como parceiro tecnológico da MB na estruturação modular e escalável do SisGAAz.

Principais resultados

Os resultados destacam a necessidade de processos de tomada de decisão mais eficazes em políticas públicas voltadas para a estruturação da defesa da Amazônia Azul pelo SisGAAz, com benefícios claros para a Base Industrial de Defesa e à sociedade.

Contribuições teóricas/metodológicas

A metodologia proposta inova ao integrar uma estrutura de decisão baseada em um conjunto de critérios, de tal forma a proporcionar um suporte científico aos Decisores, e com foco em governança tecnológica e parcerias para fins de defesa da Amazônia Azul.

Contribuições sociais/para a gestão

Este estudo contribui para a gestão pública, oferecendo insights para a formulação e implementação de políticas de defesa marítima mais eficazes e transparentes para a sociedade, além de promover uma conscientização social da importância da Amazônia Azul.

Palavras-chave: Amazônia Azul, Encomenda Tecnológica, Tomada de Decisão, Análise Multicritério, Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul

*CONTRIBUTIONS IN MULTICRITERIA ANALYSIS TO THE DECISION-MAKING
PROCESS IN THE BRAZILIAN NAVY: A CASE STUDY FOR THE BLUE AMAZON
MANAGEMENT SYSTEM*

Study purpose

To evaluate, through computer simulation, a Multicriteria Analysis model for Decision Making in the selection of a company that represents a compromise solution (trade-off) for the development of the structuring phase of SisGAAz.

Relevance / originality

This study aims to promote effective strategies for selecting companies for structuring SisGAAz based on a well-established methodology, as the success of public policies depends on improving political-administrative processes, facilitating the execution of strategic actions.

Methodology / approach

The proposed simulation will be aimed at selecting the best Alternative (Trade-Off Company), according to the weighting of Decision Criteria and Candidate Companies, which can be contracted, via ETEC, as a technological partner of MB in the modular and scalable structuring of

Main results

The results highlight the need for more effective decision-making processes in public policies aimed at structuring the defense of the Blue Amazon by SisGAAz, with clear benefits for the Defense Industrial Base and society.

Theoretical / methodological contributions

The proposed methodology innovates by integrating a decision-making structure based on a set of criteria, in such a way as to provide scientific support to Decision-makers, and with a focus on technological governance and partnerships for the Blue Amazon defense.

Social / management contributions

This study contributes to public management, offering insights for the formulation and implementation of more effective and transparent maritime defense policies for society, in addition to promoting social awareness of the importance of the Blue Amazon.

Keywords: Blue Amazon, Technological Order, Decision Making., Multicriteria Analysis, Blue Amazon Management System

CONTRIBUIÇÕES EM ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO NA MARINHA DO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO PARA O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA AMAZÔNIA AZUL

1 Introdução

1.1 Contextualização

Amazônia Azul e seu Entorno Estratégico no Atlântico Sul possuem riquezas, potencialidades, além de vulnerabilidades e ameaças consideráveis à soberania do Estado Brasileiro, o que reforça a necessidade de seu monitoramento, controle e defesa. Por suas amplas dimensões, constitui também um enorme desafio para a Defesa Nacional e para a Marinha do Brasil (MB), dado o imperativo de se monitorar, controlar e proteger (com limitados recursos orçamentários disponíveis e dependência de desenvolvimento tecnológico) esse gigantesco e complexo espaço marítimo, por meio de um sistema de defesa exequível na realidade brasileira. Para isso, a MB tem desenvolvido diversos programas estratégicos para esse fim e, em especial, cita-se o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz).

O SisGAAz possui a missão de monitorar, controlar e proteger, de forma integrada e contínua, esse espaço marítimo gigantesco de cerca de 22 milhões de km², compreendendo as Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) e as áreas internacionais de sua responsabilidade, a fim de contribuir para a mobilidade estratégica, representada pela capacidade de responder prontamente a qualquer ameaça, emergência, desastre ambiental, agressão ou ilegalidade, bem como monitorar e proteger os recursos vivos e não-vivos da Amazônia Azul, seus portos, embarcações e infraestruturas, contribuindo para o desenvolvimento nacional (Brasil, 2019, p.126; Brasil, 2020; Brasil, 2021).

Da mesma forma, verifica-se que existe também um problema de cunho tecnológico para a estruturação modular e escalável desse sistema, e para o qual ainda não existe solução na realidade brasileira. Numa tentativa de solução para os problemas, incertezas e riscos apontados, a MB achou por bem adotar um modelo de gestão de negócios proposto para a implementação da fase estruturante do SisGAAz: o da Encomenda Tecnológica (ETEC) e, conforme definido pelo Tribunal de Contas da União (TCU, 2021):

A ETEC é um instrumento de compra pública de inovação, caracterizada pelo estímulo à inovação nas empresas, que pode ser adotada em situações de falha de mercado e alto nível de incerteza, ou seja, quando o Estado se depara com um problema ou uma necessidade cuja solução não é conhecida ou não está disponível envolvendo certo risco tecnológico (p.1-2).

Nesse caso, o Estado assumiria uma parcela do risco da solução a ser desenvolvida pelo mercado, identificando potenciais interessados (Empresas Candidatas) em investir no desenvolvimento da solução tecnológica para o sistema, e que apresentam maior probabilidade de sucesso (Empresa *Trade-Off*).

1.2 Tema

A partir dessa contextualização, procurou-se apresentar o tema do trabalho desenvolvido, além de descrever os objetivos e a metodologia a ser empregada, bem como em qual contexto geral o tema está inserido. Tem-se, então, para o tema da pesquisa: aplicação de uma metodologia de análise multicritério de apoio à tomada de decisão para auxílio à fase estruturante do Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul[®] (SisGAAz), no Brasil, segundo o horizonte do Plano Estratégico da Marinha até 2040 (PEM 2040).

1.3 Problema de Pesquisa

Assim, adotou-se a premissa de que a presente pesquisa se baseia em uma questão de interpretação normativa, hipotética (ou teórica), factual e de aplicação empírica, sendo definida como: até que ponto uma metodologia de análise multicritério de apoio à tomada de decisão

pode contribuir para a escolha de uma empresa que represente uma solução de compromisso no desenvolvimento da Fase Estruturante do SisGAAz?

1.4 Objetivos

No presente estudo, os objetivos foram divididos em duas categorias: uma mais ampla (Objetivo Geral), e outra mais específica (Objetivos Específicos). Portanto, sendo coerente com a seção de “Contextualização” inicial da pesquisa, o Objetivo Geral foi, então, definido da seguinte forma: avaliar, por meio de simulação computacional, um modelo de Análise Multicritério à Tomada de Decisão na seleção de uma empresa que represente uma solução de compromisso (*trade-off*) para o desenvolvimento da fase estruturante do SisGAAz.

Para se alcançar esse objetivo geral, foram identificados os seguintes Objetivos Específicos, visando à lógica e estrutura do que será desenvolvido pelo presente estudo: 1) sumarizar e analisar a pesquisa acadêmica já existente sobre o tema, organizando e apresentando o atual estado da arte das pesquisas correlatas, dialogando com os diversos autores. Isso foi feito por meio da Revisão da Literatura; 2) levantar, de maneira abrangente, a base teórica e os conceitos necessários para o desenvolvimento do tema em lide. Isso foi feito por meio da Fundamentação Teórica; e 3) aplicar, via ponderação por decisores e simulação computacional, uma metodologia de análise multicritério para seleção, entre empresas candidatas, de uma solução de compromisso (empresa vencedora ou empresa *trade-off*) para a estruturação do SisGAAz. Isso foi feito por meio da Aplicação da Metodologia de Simulação do método PROMETHEE, via ambiente de simulação VisualPROMETHEE®.

2 Referencial Teórico

2.1 Processo de Tomada de Decisão

Segundo Allison *et al.* Zelikow (1999): “a decisão relaciona-se fundamentalmente com a alocação e o exercício de poder nas organizações, e implica a existência de tomadores de decisão e de uma opção entre alternativas referenciada a algum objetivo”.

Nesse contexto, o Processo de Tomada de Decisão (PTD) baseado em Análise de Decisão Multicritério, ou *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA), tem evoluído em diferentes vieses: um ramo que se ocupa de decisões ligadas à **racionalidade do processo decisório**, e outro relacionado à maneira como a mente humana trabalha, ou seja, **o lado emocional ou cognitivo**.

Com as contribuições dos estudos de Herbert Simon (1955) na área da ciência cognitiva relacionada à Teoria da Racionalidade Limitada, o apoio à decisão passou por transformações até o aparecimento das técnicas subjetivas de estruturação de problemas de decisão (Mingers *et al.* Rosenhead, 2004).

Um outro viés no PTD/MCDA consiste em uma mescla entre o lado racional e o intuitivo, por meio do desenvolvimento de metodologias e suas **aplicações computacionais (simulações) para auxílio ao PTD/MCDA**, de forma a “aproximar, cada vez mais, a teoria preconizada pela literatura aos problemas reais, por meio de modelos matemáticos que, por definição, são representações aproximadas da realidade, sujeito às limitações inerentes às características de cada modelo” (Xavier, 2009, p.7).

Ainda segundo Dantas (2022): “[...] com o uso de modelos multicritérios, é possível compreender e identificar os critérios fundamentais para selecionar alternativas, além de evitar tomar decisões com base apenas na experiência ou no *feeling* individual” (p.5).

Da mesma forma, depreende-se que a “Decisão em Grupo” - e todas as suas problemáticas envolvidas - ganharam destaque na literatura internacional nos últimos tempos, assim como as aplicações de métodos multicritério robustos via simulação, claros e de fácil aplicação à decisão. Em projetos voltados para monitoramento, controle proteção do espaço marítimo nacional, ainda que inéditos, pode-se verificar que a interação de mais de um tomador de

decisão, como apresentado no presente estudo, para a seleção de uma solução de compromisso é notória, e o uso de métodos em MCDA, indispensável.

2.2 O Modelo PROMETHEE

Considerando, então, a importância dos métodos multicritérios no tratamento da realidade humana, algumas abordagens metodológicas têm sido propostas pela Academia, destacando-se o da Escola Americana, com os Métodos da Família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), e o da Escola Europeia, com os Métodos da Família ELECTRE (*ELimination Et Choice TRadusàint la rEalité*).

As aplicações dos modelos de decisão em grupo dependem do tipo de caso a ser abordado. Diante dos estudos desenvolvidos por Infante (2016):

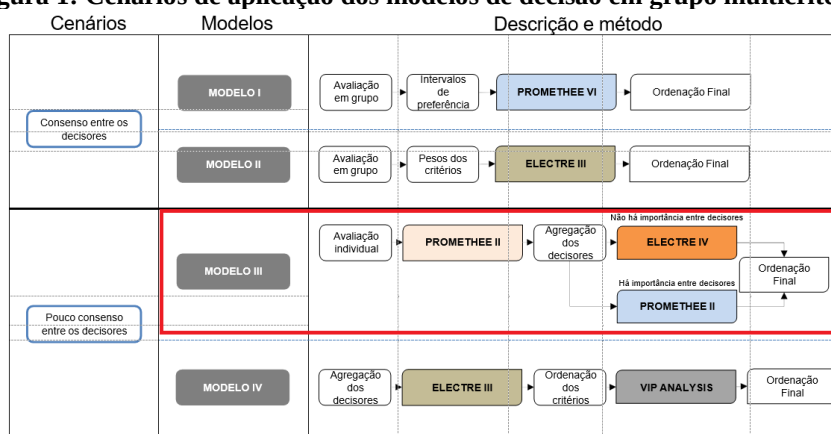
[...] duas situações podem ser verificadas: uma, em que há grande divergência entre os decisores em relação às suas preferências; e outra, em que há pouca divergência entre eles. Essas divergências entre decisores são muito comuns, e sempre estão presentes (p.68).

Assim, os modelos desenvolvidos foram separados em dois grupos: **consenso entre os decisores – MODELOS I e II**, sendo os mais objetivos e simples, pois convergem para o mesmo caminho: existência de consenso entre os decisores; e **pouco consenso entre os decisores – MODELOS III e IV**, levando à negociação e tomada de decisão em grupo.

Nesse segundo caso, o *software* VisualPROMETHEE[®] fornece extensões dos métodos PROMETHEE para o caso onde vários tomadores de decisão estão envolvidos no processo de decisão, e onde “[...] o modelo multicenários (vários Decisores) permite comparar pontos de vista divergentes, identificar as fontes do conflito e se envolver numa dinâmica para resolver os conflitos, levando a selecionar a melhor decisão de consenso” (Visual PROMETHEE, 2015, p.6).

Já os modelos III e IV divergem nos seguintes pontos: agregação das avaliações dos decisores sobre as Alternativas – MODELO III; e agregação das ponderações dos decisores sobre os Critérios – MODELO IV. A Figura 1 representa um resumo dessa abordagem.

Figura 1: Cenários de aplicação dos modelos de decisão em grupo multicritério.



Fonte: Infante, 2016, p.73.

Essas variações, dentro de um contexto de estudo de um sistema complexo como o SisGAaz, podem ocorrer principalmente em função das áreas de atuação dos Tomadores de Decisão pertencentes às diversas Organizações Militares (OM) envolvidas nesse projeto de defesa marítima, e escolhidos para representar a Autoridade Naval (Marinha do Brasil) no PTD/MCDA. Logo, foi selecionado o **Modelo III** dentre os Métodos da Família PROMETHEE, com a utilização do *software* VisualPROMETHEE[®] com interface GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*, ou “Análise Geométrica para Ajuda Interativa”, em livre tradução). Justifica-se essa escolha, pois:

“O **MODELO III** é modelo ideal a ser aplicado quando há uma distinção clara sobre o grau de importância relativa entre os Decisores (hierarquia) e, concomitantemente, ausência de consenso na tomada de decisão na escolha da melhor Alternativa (Empresa Trade-Off)” (Infante, 2016, p.109).

Ainda, segundo Alencar (2006, p.40) “[...] o Método GAIA completa os resultados obtidos pelo PROMETHEE, sendo mais descritivo e graficamente orientado, facilitando a interpretação dos resultados obtidos”. Além disso, “o Método GAIA tem sido utilizado em numerosas aplicações econômicas e industriais” (Mareschal et Brans, 1988).

2.3 O Método PROMETHEE II

Segundo o proposto por Brans et Mareschal (2005, p.164), considere-se o seguinte problema multicritério de maximização de **g_j(a)** critérios de uma alternativa “a”:

$Max\{g_1(a), g_2(a), \dots, g_j(a), \dots, g_k(a) | a \in A\}$ (Equação 1), onde **A** é um conjunto finito de

Alternativas (Empresas Candidatas) possíveis: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}, i = 1, 2, \dots, n$ (Equação 2), **C** é um conjunto de **Critérios de Decisão** para as (.) alternativas: $C = \{g_1(.), g_2(.), \dots, g_j(.), \dots, g_k(.)\}, j = 1, 2, \dots, k$ (Equação 3), e **D**, um grupo de Decisores composto por “R” membros, com “p_r” ponderações, $r = 1, 2, \dots, R$, $D = \{1, 2, 3, \dots, r, \dots, R\}, r = 1, 2, \dots, R$ (Equação 4).

Ademais, não há objeção em se considerar alguns critérios de **C** a serem maximizados e outros a serem minimizados, pois a expectativa do tomador de decisão, após a execução do método, é identificar uma alternativa de “otimização” dentre todos os critérios, chegando a uma Solução de Compromisso (*Trade Off*). Na verdade, deve-se considerar que os Critérios de Decisão são conflitantes entre si, onde ocorre a impossibilidade de se otimizá-los ao mesmo tempo, conforme alertado por Brans et Mareschal (2005, p.164): “[...] geralmente este é um problema matemático mal colocado, pois não existe alternativa otimizando todos os critérios ao mesmo tempo”.

Portanto, uma solução de compromisso (Empresa *Trade-Off*) deverá ser selecionada como um problema de decisão de natureza multicritério por Decisores que não pensam da mesma maneira, como no caso do estudo de caso hipotético proposto para a simulação a ser abordado mais adiante.

O modelo proposto trabalha com a matriz de decisão **M(n x k)**, em que “n” é o número de Alternativas (aqui denominadas “Empresas Candidatas”) em análise e “k” é o número de Critérios (aqui denominados Critérios de Decisão). Dessa forma, os dados básicos de um problema multicritério consistem na montagem de uma **Tabela de Avaliação M(n x k)** para o problema multicritério proposto dada por:

Tabela 1: Tabela de Avaliação.

<i>a</i>	<i>g</i> ₁ (.)	<i>g</i> ₂ (.)	...	<i>g</i> _{<i>j</i>} (.)	...	<i>g</i> _{<i>k</i>} (.)
<i>a</i> ₁	<i>g</i> ₁ (<i>a</i> ₁)	<i>g</i> ₂ (<i>a</i> ₁)	...	<i>g</i> _{<i>j</i>} (<i>a</i> ₁)	...	<i>g</i> _{<i>k</i>} (<i>a</i> ₁)
<i>a</i> ₂	<i>g</i> ₁ (<i>a</i> ₂)	<i>g</i> ₂ (<i>a</i> ₂)	...	<i>g</i> _{<i>j</i>} (<i>a</i> ₂)	...	<i>g</i> _{<i>k</i>} (<i>a</i> ₂)
⋮	⋮	⋮	⋱	⋮	⋱	⋮
<i>a</i> _{<i>i</i>}	<i>g</i> ₁ (<i>a</i> _{<i>i</i>})	<i>g</i> ₂ (<i>a</i> _{<i>i</i>})	...	<i>g</i> _{<i>j</i>} (<i>a</i> _{<i>i</i>})	...	<i>g</i> _{<i>k</i>} (<i>a</i> _{<i>i</i>})
⋮	⋮	⋮	⋱	⋮	⋱	⋮
<i>a</i> _{<i>n</i>}	<i>g</i> ₁ (<i>a</i> _{<i>n</i>})	<i>g</i> ₂ (<i>a</i> _{<i>n</i>})	...	<i>g</i> _{<i>j</i>} (<i>a</i> _{<i>n</i>})	...	<i>g</i> _{<i>k</i>} (<i>a</i> _{<i>n</i>})

Fonte: Brans et Mareschal (2005, p.165).

O método tem início com as avaliações individuais de cada Decisor (Ponderações) entre a importância relativa entre Critérios de Decisão, concomitantemente à avaliação ao atendimento das Empresas Candidatas a cada um dos Critério. Leva-se em conta na aplicação do método a preferência de cada Decisor por comparações entre uma alternativa “a” ou “b”, dada por uma função de preferência **P(a,b)** e a importância relativa entre os Decisores (Hierarquia) dada pela Tabela 2, que deve ser preenchida, entendendo que o conjunto representa

pesos w_j de importância relativa dos diferentes Critérios de Decisão $g_j(\cdot)$. Esses pesos são números não negativos ($w_j > 0$), independentes da unidade de medida de cada critério.

Tabela 2: Pesos de importância relativa entre Critérios.

$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	...	$g_j(\cdot)$	...	$g_k(\cdot)$
w_1	w_2	...	w_j	...	w_k

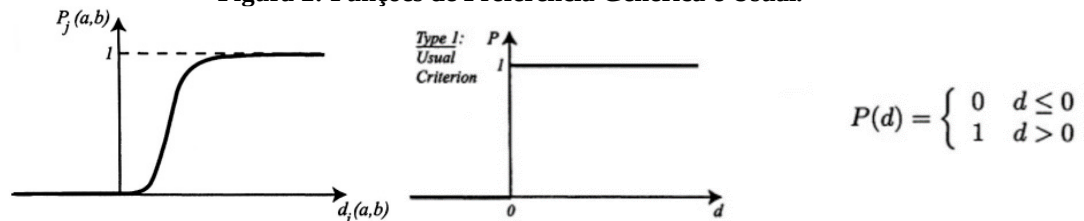
Fonte: Brans et Maereschal, 2005, p.168.

Quanto maior o peso w_j , mais importante é o critério. Não há objeção em considerar pesos normalizados, de modo que: $\sum_{j=1}^k w_j = 1$ (Equação 5).

Outrossim, as preferências dos decisores no PROMETHEE II é baseada em comparações de pares de alternativas (a, b) , devendo ser levada em consideração a amplitude dos desvios entre as avaliações das Empresas Candidatas “a” e “b”, sob um determinado Critério de Decisão $g_j(\cdot)$, ou seja: $d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$, $j = 1, 2, \dots, k$ (Equação 6).

Logo, **quanto maior o desvio $d_j(a, b)$, maior será a preferência da “Empresa Candidata a” sobre a “Empresa Candidata b”.** Nesse contexto, considera-se que essas funções de preferências $P_j(a, b)$ são números reais variando entre 0 e 1. Isso significa que, para cada Critério, o tomador de decisão tem em mente uma função de preferências $P_j(a, b)$ dada em função F do desvio $d_j(a, b)$, ou seja: $P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)]$, $\forall a, b \in A$, $0 \leq P_j(a, b) \leq 1$, $j = 1, 2, \dots, k$ (Equação 7).

Figura 2: Funções de Preferência Genérica e Usual.



Fonte: Brans et Mareschal (2005, p.169;170); Infante (2016, p.49); Roy (1996); Vincke (1992).

Para critérios de decisão qualitativos, como os adotados no presente estudo e que incluam um pequeno número de níveis de avaliação, a função de **Preferência Habitual (Tipo 1)** é **normalmente uma boa escolha. O software VisualPROMETHEE® adota essa forma, sendo satisfatória na maioria das aplicações do mundo real** (Brans et Mareschal, 2005, p. 171, grifos nossos).

Estabelecidas as Preferências e as Ponderações dos decisores, obtém-se o **Grau de Sobreclassificação $\pi(a, b)$** para cada par de Empresa Candidata ou Alternativas (a, b) , sendo calculado como segue (Vincke, 1992):

$$\text{Sejam as Alternativas "a" e "b" } \in A \text{ e } \begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) \cdot w_j \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a) \cdot w_j \end{cases}, \begin{cases} \forall a, b \in A \\ 0 \leq P_j(a, b) \leq 1 \\ 0 \leq P_j(b, a) \leq 1 \\ j = 1, 2, \dots, k \end{cases} \quad (\text{Equação 8}).$$

O termo $\pi(a, b)$ está expressando com que grau a Alternativa “a” (Empresa Candidata “a”) é preferível sobre a Alternativa “b” (Empresa Candidata “b”) e, alternativamente, $\pi(b, a)$ está expressando com que grau a Alternativa “b” (Empresa Candidata “b”) é preferível sobre a Alternativa “a” (Empresa Candidata “a”). Assim que $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ são calculados para cada par de Alternativas de A , um gráfico de sobreclassificação com valor completo, incluindo dois arcos entre cada par de nós, é obtido, onde cada Alternativa “a” enfrenta outras Alternativas “n-

1” alternativas em A do tipo x=“b”, “c”, “d”, etc., e definindo o **Fluxo de Sobreclassificação entre alternativas**.

Brans *et* Mareschal (2005, p.172) definem dois tipos de **Fluxos de Sobreclassificação**: Fluxo de Sobreclassificação Positivo: $\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A} \pi(a, x)$ (Equação 9), que expressa como uma Alternativa “a” (Empresa Candidata “a”) está superando todas as outras. De modo inverso, o Fluxo de Sobreclassificação Negativo: $\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A} \pi(x, a)$ (Equação 10) expressa como uma alternativa “a” (Empresa Candidata “a”) está sendo superada por todas as outras.

O Método PROMETHEE II, então, classifica as diversas Empresas Candidatas, estabelecendo uma ordem de $\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$ (**Fluxo Líquido**) (Equação 11), e uma ordem completa entre elas. Ou seja: **quanto maior o fluxo líquido $\Phi(a)$, melhor a Alternativa (Empresa Candidata)** (Brans *et* Mareschal, 2005, p.173, grifos nossos).

Destaca-se que este é o diferencial do PROMETHEE II, pois ele organiza as Alternativas (Empresas Candidatas) em ordem decrescente de preferências, obtendo assim uma ordem completa, onde **a Empresa Candidata de maior fluxo representa a melhor Alternativa a ser escolhida no PTD/MCDA** e, dessa forma, obtém-se a Empresa Candidata Vencedora (Empresa ou Alternativa *Trade-Off*)

Não obstante, de acordo com a definição dos fluxos de superação positivos e negativos $\Phi^+(a)$ e $\Phi^-(a)$ e dos índices agregados $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ estabelecidos por Brans *et* Mareschal (2005, p.175), temos: $\phi(a) = \phi(a)^+ - \phi(a)^- = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^k \sum_{x \in A} [P_j(a, b) - P_j(x, a)] w_j$ (Equação 12).

Consequentemente, $\phi(a) = \sum_{j=1}^k \phi_j(a) w_j$, se $\phi_j(a) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A} [P_j(a, b) - P_j(x, a)]$ (Equação 13).

Onde $\Phi_j(a)$ é o fluxo líquido de critério único obtido quando apenas esse critério é considerado (100% do peso total é atribuído a esse critério). Assim, o Perfil de uma Alternativa consiste no conjunto de todos os fluxos líquidos de critério único $\Phi_j(a)$, $j=1, 2, \dots, k$, expressando como uma alternativa “a” supera ($\Phi_j(a) > 0$) ou é superada ($\Phi_j(a) < 0$) por todas as outras alternativas no critério $g_j(\cdot)$.

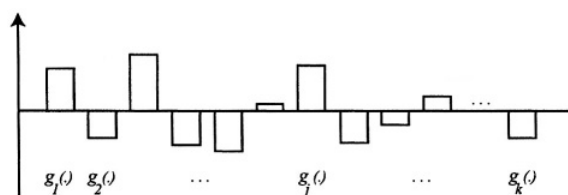
Tabela 3: Matriz de Fluxos líquidos de critério único.

	$\phi_1(\cdot)$	$\phi_2(\cdot)$	...	$\phi_j(\cdot)$	...	$\phi_k(\cdot)$
a_1	$\phi_1(a_1)$	$\phi_2(a_1)$	...	$\phi_j(a_1)$	...	$\phi_k(a_1)$
a_2	$\phi_1(a_2)$	$\phi_2(a_2)$	...	$\phi_j(a_2)$	...	$\phi_k(a_2)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
a_i	$\phi_1(a_i)$	$\phi_2(a_i)$	...	$\phi_j(a_i)$	...	$\phi_k(a_i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
a_n	$\phi_1(a_n)$	$\phi_2(a_n)$	...	$\phi_j(a_n)$	...	$\phi_k(a_n)$

Fonte: Brans *et* Mareschal (2005, p. 172; 176).

Esses perfis são particularmente úteis para apreciar visualmente a sua “qualidade” nos diferentes critérios, sendo amplamente utilizado pelos decisores para apreciação das alternativas sob determinados critérios específicos, e serão utilizados na análise dos resultados da simulação para Alternativas identificadas como Empresas Candidatas.

Figura 3: Perfis de Alternativas.



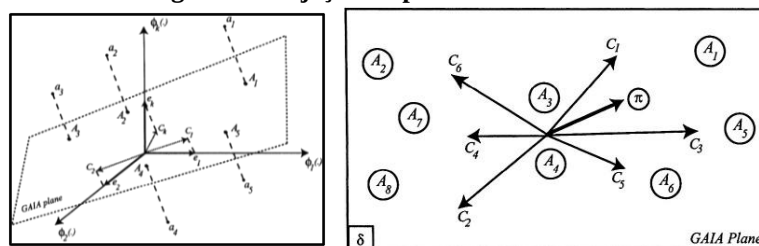
Fonte: Brans et Mareschal (2005, p. 175).

2.4 O Módulo Visual Interativo GAIA

Consideremos primeiro a matriz dos fluxos líquidos $M(n \times k)$ de critério único de todas as Alternativas, conforme definido pela Equação 19. Consequentemente, o conjunto de Alternativas (Empresas Candidatas) pode ser representado como uma nuvem de pontos num espaço, onde esta nuvem está centrada na origem. Como o número de critérios costuma ser maior que dois, é impossível obter uma visão clara da posição relativa dos pontos em relação aos critérios. Portanto, projetam-se as informações incluídas no Plano GAIA, não apenas os pontos que representam as alternativas, mas também os vetores unitários dos eixos coordenados que representam os critérios (Brans et Mareschal, 2005, p.175).

Ou seja: sejam as projeções ($A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$) dos **pontos** que representam as “n” Alternativas (**Empresas Candidatas**), e sejam as projeções ($C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_k$) dos “k” **vetores unitários** dos eixos coordenados do espaço k-dimensional $\mathcal{R}^k$, representando os **Critérios de Decisão**. Obtemos então um Plano GAIA de projeção do seguinte tipo (Brans et Mareschal, 2005, p.178):

Figura 4: Projeção no plano GAIA.



Fonte: Brans et Mareschal (2005, p.176;177).

Logo, em função dessas projeções, é possível analisar similitudes e conflitos de Critérios de Decisão, semelhanças e divergências de preferências entre Decisores.

O Plano GAIA fornece uma poderosa ferramenta de visualização gráfica para a análise de um problema multicritério. O poder discriminativo dos critérios, os aspectos dos conflitos, bem como a “qualidade” de cada alternativa nos diferentes critérios se tornam, assim, particularmente claros para o PTD/MCDA (Brans et Mareschal, 2005, p.178).

Complementarmente, o vetor dos pesos w ($w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_k$) no espaço k-dimensional $\mathcal{R}^k$ pode ser considerado como um **Eixo de Decisão** π (“Stick” ou vetor de decisão) do PROMETHEE II. A projeção desse vetor de pesos w no Plano GAIA, ou seja, o eixo de decisão π indica a direção na qual o Decisor é convidado a decidir, de acordo com os pesos considerados (Brans et Mareschal, 2005, p.179, grifos nossos).

Se π é longo, a projeção do vetor de pesos w é longa. Logo, o eixo de decisão do PROMETHEE tem um forte poder de decisão, e o Decisor é convidado a selecionar as Alternativas (Empresas Candidatas) que estão localizadas o mais próximo possível nessa direção. Por outro lado, se π é curto, a projeção do vetor de pesos w é curta. Então, o eixo de decisão não tem um poder suficientemente forte para decidir. Nesse caso, o vetor w está quase ortogonal ao Plano GAIA, o que significa que, de acordo com os pesos, os critérios são muito conflitantes e que um bom compromisso deve ser selecionado próximo à origem.

Assim, o Plano GAIA seria uma forma matemática de se representar os resultados da análise PROMETHEE II em um gráfico tridimensional.

3 Metodologia

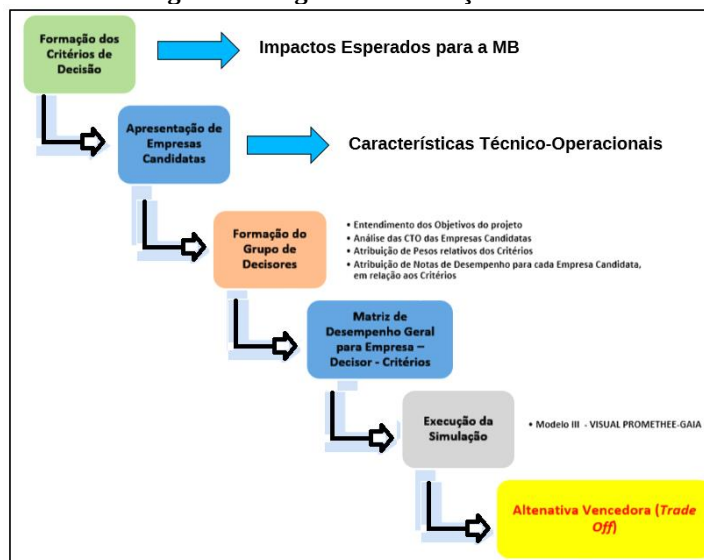
3.1 Estudo de Caso: simulação para o SisGAAz

Consideremos a problemática existente para a Marinha do Brasil em estruturar, de forma modular e escalável, um sistema de alta complexidade como o SisGAAz, em função de recursos já limitados de orçamento, disponibilidade tecnológica e a existência ou não de parceiros qualificados e que estejam dispostos a assumir os riscos inerentes ao projeto via modelo de gestão ETEC. A simulação computacional proposta com o *software* VisualPROMETHEE® será voltada para a seleção da melhor Alternativa (Empresa *Trade-Off*), segundo a ponderação de Critérios de Decisão e de Empresas Candidatas, que possam ser contratadas, via ETEC, como parceiro tecnológico da MB na estruturação modular e escalável do SisGAAz.

Suponhamos, então, que a MB formalizou o recebimento, na data hipotética “202X”, das solicitações de propostas RFP (*Request for Proposal*, ou “Solicitação de Oferta”) fornecidas por Empresas Candidatas (Fictícias), e que possam auxiliar no desenvolvimento do projeto SisGAAz por meio de suas Capacidades Técnico-Operacionais (CTO).

Considere-se, então, as seguintes Premissas para a simulação: 1) os Critérios de Decisão são advindos do Substrato do Conceito Operacional (CONOPS) do SisGAAz (o CONOPS representa o comportamento esperado de um sistema pelo ponto de vista do usuário, descrevendo-o de modo independente da tecnologia a ser empregada (Brasil, 2022, p.3)); 2) as Empresas Candidatas possuem CTO que devem ser avaliadas e ponderadas pelos Decisores quanto ao atendimento dos Critérios de Decisão; 3) o Grupo de Decisores deverá ser formado por especialistas representantes das OM participantes do projeto SisGAAz, considerando-se que há um grau de hierarquia entre Decisores, e que não há consenso de opinião entre eles; 4) para a atribuição de pesos relativos entre dos Critérios de Decisão e de Empresas Candidatas, os Decisores devem ter conhecimento do projeto SisGAAz, dos Critérios que o norteiam e das CTO para avaliação das mesmas; 5) as Funções de Preferência $P(a,b)$ para cada um dos Decisores são tomadas como “Usuais”, em cada Critério (Figura 2); 6) Os Facilitadores não ponderam e não devem interferir no processo de tomada de decisão, mas sim auxiliar na execução dos trabalhos; e 7) ao final do processo, objetiva-se obter a Empresa Concorrente Vencedora (*Trade-Off*). A Figura 5 representa a lógica da metodologia de análise proposta:

Figura 5: Lógica da Simulação.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Na formação dos **09 (nove) Critérios de Decisão com base nos Impactos Esperados para a MB pelo SisGAAz**, a seleção foi feita em função dos dados advindos do CONOPS e Elementos de Arquitetura do Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (Brasil, 2022).

Quadro 1: Definição dos Critérios de Seleção de Empresas para o SisGAAz.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	OBJETIVO	IMPACTOS ESPERADOS PARA A MB
C1	REDUÇÃO DO TEMPO DE REAÇÃO	MINIMIZAR	O SisGAAz deverá permitir uma redução significativa no tempo de reação a ameaças ou emergências. Isso será possível a partir do monitoramento adequado das áreas de interesse e da manutenção de um quadro operacional comum. Com essas funcionalidades, os Centros Operacionais da MB (Distritos Navais) poderão reagir mais rapidamente a uma ameaça ou emergência. O SisGAAz também disponibilizará ferramentas de apoio ao planejamento que reduzirão o período de planejamento e distribuição de planos e ordens.
C2	AUMENTO DA MOBILIDADE ESTRATÉGICA	MAXIMIZAR	O monitoramento e controle, oferecidos pelo SisGAAz, deverão otimizar o emprego de meios escassos diante das grandes distâncias envolvidas. A utilização de um quadro operacional comum permitirá a atuação em rede, de modo preciso e rápido, na qual os centros operacionais poderão colaborar de forma integrada. O SisGAAz disponibilizará sistemas de sensoriamento, de comunicações e de comando e controle que permitirão que ordens, planos e mensagens sejam trocados pelos diversos atores e centros operacionais a fim de que os meios sejam empregados quando e onde forem efetivamente necessários.
C3	AUMENTO DA CAPACIDADE DE ATUAÇÃO PREVENTIVA	MAXIMIZAR	Com o monitoramento que o SisGAAz irá proporcionar, deverá ser possível não apenas reagir perante uma ameaça ou emergência, mas desenvolver em maior escala ações preventivas, para mitigar riscos associados a uma possível ameaça ou emergência. A facilidade de utilização de dados e análises de inteligência de modo integrado com o sistema de comando e controle deverá aumentar a capacidade de predição de riscos, colaborando com uma atuação preventiva mais eficaz.
C4	AUMENTO DA SELETIVIDADE NA ATUAÇÃO	MAXIMIZAR	O emprego do SisGAAz, de modo integrado com a “informação inteligência”, deverá permitir o desenvolvimento de diversas análises apoiadas por funcionalidades do SisGAAz. Essas análises deverão mostrar desvios de comportamentos, atitudes suspeitas ou não colaborativas e inconsistências nos contatos monitorados. O sistema de sensoriamento, atuando coordenadamente com o sistema de inteligência, permitirá que os centros operacionais direcionem a atuação de modo seletivo para contatos que apresentem parâmetros não conformes, seja nos registros históricos de sua movimentação, seja nos registros relacionados com a embarcação.
C5	AUMENTO DA CAPACIDADE DE ATUAÇÃO REMOTA	MAXIMIZAR	O sistema de comunicações do SisGAAz deverá permitir que o Poder Naval atue remotamente em maior escala, sem a necessidade de presença de meios, para abordar rapidamente um contato de interesse. Os centros operacionais poderão interferir pela rede de comunicações diretamente em uma área de interesse por meio de mensagens. Isso aumentará a amplitude da atuação, reduzirá o tempo de reação e deverá proporcionar uma significativa redução de custos.
C6	AUMENTO DA CAPACIDADE DE OPERAÇÃO ESTRUTURADA EM REDE	MAXIMIZAR	O SisGAAz deverá permitir uma maior atuação em rede pelo estabelecimento de um quadro operacional comum ampliado e pelas melhorias em seu sistema de comunicações. Os centros operacionais poderão estruturar a atuação empregando os meios de modo integrado, obtendo um elevado grau de coordenação e complementaridade entre os atores, sejam eles navios, aeronaves, tropas ou organizações em terra, que estejam conectados ao sistema (Guerra Centrada em Redes - GCR).
C7	AUMENTO DA CAPACIDADE DE PLANEJAMENTO COLABORATIVO	MAXIMIZAR	As funcionalidades de apoio ao planejamento a serem oferecidas pelo SisGAAz deverão permitir que o planejamento de ações e operações de apoio conjuntas e singulares seja realizado com planejadores afastados geograficamente, de forma mais eficaz, sem elevar o tempo de planejamento. Os módulos de apoio ao planejamento deverão oferecer facilidades como o uso de modelos para elaboração das diretivas e o fácil acesso às camadas de inteligência, que permitirão otimizar o período de planejamento.
C8	AUMENTO DA CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA (CSM)	MAXIMIZAR	O SisGAAz deverá contribuir com o aumento da Consciência Situacional Marítima (CSM) das autoridades nacionais nessas áreas, aprimorando sua capacidade de monitoramento e controle e, consequentemente, de vigilância e defesa desses espaços. Os módulos do SisGAAz deverão ser desenvolvidos a partir das tecnologias utilizadas para o Projeto Piloto do SisGAAz e sistemas legados, coordenado pelo Setor Operativo, e com o concurso de Empresa Concorrente da Base Industrial de Defesa (BID), que permitam a implantação gradual, por fases, de sensores, telecomunicações, sistema integrador e analítico, bem como a capacidade de Comando de Controle (C ²) que, em conjunto, ampliem a Consciência Situacional Marítima (CSM) nas AJB.

C9	GARANTIA DA SUPERIORIDADE DA INFORMAÇÃO	MAXIMIZAR	O SisGAaz deverá disponibilizar um conjunto de dados que reflita e garanta o conceito de “superioridade da informação”, e que poderão que servir como base para o processo de tomada de decisão pelo Poder Naval e, quando aplicável, para o estabelecimento de medidas de reação a uma ameaça ou a uma emergência identificada nas AJB.
C10	EMPRESA PERTENCENTE OU NÃO À BID)	YES/NO	Na execução do PTD/MCDA foi considerada a premissa de que é desejável que as Empresas Candidatas pertençam à Base Industrial de Defesa (BID). Essa premissa foi tratada como um condicionante estabelecido pelo Facilitador/Analista, e não pelos Decisores, para a simulação do VisualPROMETHEE®: yes – pertence à BID; e no – não pertence à BID.

Fonte: Elaborado pelos Autores, a partir de Brasil, 2022, p.37-38.

Para a apresentação do Portfólio de Empresas Candidatas, adotou-se a premissa de que **03 (três) Empresas Hipotéticas Candidatas** propuseram, via RFP, soluções ao SisGAaz que devem ser analisadas mediante o atendimento aos **Critérios de Decisão (Quadro 1) versus Capacidades Técnico-Operacionais (CTO) de cada Empresa Candidata**, (Quadro 2, Quadro 3 e Quadro 4).

Quadro 2: Identificação da Empresa Candidata Alfa.

ALFA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-OPERACIONAIS (CTO) - PORTFÓLIOS
• Estamos aptos a atuar na gestão e implantação de grandes empreendimentos voltados para sistemas complexos de defesa militar. • Somos uma empresa nacional da BID, que conta também com diversas experiências internacionais na concepção, desenvolvimento, estruturação de arquiteturas sistemas e materialização de projetos em ambientes militares de defesa de alta complexidade técnico-operacional. • Em nosso portfólio apresentamos soluções na absorção, elaboração e emprego de tecnologias avançadas como Big Data e Análise Avançada (BDAA), Internet das Coisas Militares (IoMT), Inteligência Artificial (IA), Robótica, Plataformas Autônomas e Dronificação. • Um importante passo para nossa consolidação nos negócios de defesa militar no mercado nacional brasileiro foi a recente aquisição do controle da “XYZ” Engenharia e Defesa, empresa da BID que tem em seu portfólio mais de dez anos de serviços prestados para as Forças Armadas Brasileiras, donde destacam-se a fabricação de mísseis e de produtos de alta tecnologia para o mercado aeroespacial, como radares, sistemas de aviação e de comunicação, controle e comando (C4I), bem como o desenvolvimento de projetos voltados a elaboração e fabricação de plataformas autônomas embarcadas em navios, dronificação aérea, submarina, anfíbia, e sistemas de energia, telemetria e telecomando. • Oferecemos também em nosso portfólio um Sistema Integrado de Combate, caracterizado por ser um sistema de gerenciamento de combate escalável e em rede, utilizando software comum e infraestrutura de computação, para rapidamente colocar em campo a capacidade em todos os domínios para a frota de superfície e submarina da Marinha do Brasil. • Trazemos em nossa reputação experiência e ecossistema de parceiros da indústria para o Sistema Integrado de Combate, para atender às necessidades dos combatentes dos mares em tempo real, com atualizações na velocidade da relevância para superar as ameaças em evolução e implantar novas capacidades para o combate no mar. • Fornecemos atualizações na velocidade da relevância para superar as ameaças em evolução e implantar novas capacidades para o combatente, conectando ativos de vários domínios e direcionando para uma arquitetura comum em toda a frota de superfície e submarina. • Aproveitando a Transformação Digital e Inovação aplicadas a um ecossistema da indústria para trazer inovação ao Sistema Integrado de Combate com o uso de Engenharia de Sistemas e Integração de Software, a Empresa está comprometida em transformar a maneira como a Marinha do Brasil usa a Engenharia de Sistemas e a integração de software para identificar, avaliar e se defender contra ameaças de adversários pares, numa parceria com a indústria para fornecer atualizações de software para a frota em tempo real, para que os marinheiros fiquem prontos para o que a missão exigir. • A empresa declara-se apta a participar do sistema de aquisição ETEC.

Fonte: elaborado pelos Autores.

Quadro 3: Identificação da Empresa Candidata Beta.

BETA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-OPERACIONAIS (CTO) - PORTFÓLIOS
• Somos uma empresa nacional da BID, líder na indústria aeroespacial e de defesa, e com crescente atuação no mercado global, desenvolvendo produtos e soluções para diversos países da América Latina. • Em nosso portfólio, oferecemos uma linha completa de soluções integradas e aplicações de Comando e Controle (C4I), radares, ISR (Inteligência, Vigilância e Reconhecimento) e espaço, incluindo sistemas integrados de informação, comunicação, monitoramento e vigilância de fronteiras, bem como sistema de dronificação aérea para defesa litorânea, atuando como vetores tecnológicos de última geração, associados a plataformas militares em terra e oceânicas. • Apresentamos também como coprodutora de sistemas satelitais para a indústria aeroespacial nacional, além de atuar em pesquisa e desenvolvimento (P&D) de integração de sistemas computacionais baseados de Big Data e Análise Avançada (BDAA). • Em nosso portfólio, fornecemos soluções de defesa, aeroespacial e segurança mais avançadas e lideradas com o uso de novas tecnologias disruptivas. • Empregamos uma força de trabalho qualificada de mais de 90.000 pessoas em cerca de 20 países, trabalhando com clientes e parceiros locais, desenvolvendo, projetando, fabricando e dando suportes a produtos e sistemas voltados para fornecer capacidade militar, proteção a segurança nacional marítimas e satelitais, mantendo informações críticas e a infraestrutura seguras. • Com décadas de investimento e atualizações, a empresa continuou a evoluir sistemas de defesa para um ambiente virtualizado, baseado em plataformas autônomas virtuais e simulação de operações em domínios aéreos e terrestres, com aplicações de Inteligência Artificial (IA), bem como o desenvolvimento de Capacidades de Dissuasão Cibernética para Sistemas de defesa terrestre, em parceria com o Exército Brasileiro. • Nossos serviços, soluções e produtos abrangem clientes nas áreas de aplicação da lei, segurança nacional, governo central e empresas governamentais das áreas de telecomunicações. • Utilizando as mais recentes tecnologias, melhores práticas e processos, combinados com a experiência adquirida em mais de quarenta anos de aplicação, apoiamos os nossos clientes ajudando-os na capacitação para detecção e defesa contra ameaças que enfrentam, tanto físicas quanto cibernéticas, transformando organizações para que operem com segurança e prosperem no mundo digital.

- Somos capazes de maximizar o uso de sistemas legados, mapeando investimentos e transferências de novas tecnologias para os mesmos.
- Nossa experiência abrange muitas áreas, mas é construída sobre bases de experiência, conhecimento e tecnologia nas áreas de cibernética, transformação digital, análises e análises avançadas, inteligência de comunicações, inteligência de múltiplas fontes, telemetria e wireless.
- Como ameaças rápidas exigem dissuasão ágil com plataformas compatíveis, oferece um Sistema de Segurança atualizado para novas ameaças, com um novo padrão de arquitetura e integração de sistemas, com plataformas de dissuasão interoperáveis e conectadas em rede, em um ecossistema projetado para um novo padrão de proteção conectada.
- A empresa declara-se apta a participar do sistema de aquisição ETEC.

Fonte: elaborado pelos Autores.

Quadro 4: Identificação da Empresa Candidata Gama.

GAMA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-OPERACIONAIS (CTO) - PORTFÓLIOS

- Apresentamo-nos como uma empresa internacional, não pertencendo diretamente à BID, mas ofertando sistemas e serviços para empresas nacionais. Temos, em nosso portfólio, projetos voltados para a defesa militar com foco na tecnologia da informação.
- Em nossos projetos, desenvolvemos o conceito, construção e operação de vetores tecnológicos disruptivos a serem usados como meio de aumento da Consciência Situacional no espaço marítimo, como por exemplo, BDAA, IA, IoMT, além de integração de veículos autônomos aéreos por meio de robótica de enxame (*swarming*).
- Oferecemos serviços e sistemas para proteção de comunicações em terra, mar, ar e espaço, bem como proteção à disponibilidade dos seus serviços de Infraestrutura Nacional Crítica portuária.
- A empresa apresenta também, em seu portfólio, projetos de Segurança Cibernética (Cyber Security) voltados para o combate as ameaças emergentes à segurança e à conscientização da informação, apostando na superioridade tecnológica da informação contra essas ameaças.
- Um importante passo para a sua consolidação nos negócios de defesa militar no mercado nacional foi a recente parceria com a “YZW Tecnologia da Informação”, empresa que tem em seu portfólio pesquisa e desenvolvimento (P&D) na área de Criptografia e Criptografia Pós-Quântica (PQCrypto), promovendo fortes defesas digitais atuais e futuras em novos paradigmas.
- O “Sistema Duo-Krypto”, desenvolvido pela empresa “YZW Tecnologia da Informação”, concentra-se na defesa de uma única rede, como a de uma organização do setor público ou privado, estendendo-se esse desafio a múltiplas organizações e setores, bem como contra um amplo espectro de ameaças futuras ao espaço marítimo e satelital. Seu portfólio cibernético apoia clientes nessas duas áreas, por meio de produtos e serviços que ajudam as organizações a se adaptarem e responderem às ameaças e oportunidades no mundo digital.
- Seu portfólio cibernético inclui também produtos e serviços que abrangem consultoria e governança de risco, testes de segurança, resposta a incidentes, projeto e construção de capacidade de defesa cibernética em nível nacional, e gerenciamento de segurança de redes corporativas.
- À medida que os ataques cibernéticos evoluem e se desenvolvem, é essencial que as organizações compreendam a força relativa das suas defesas. O que era forte o suficiente há alguns anos atrás pode não ser mais capaz de resistir à sofisticada gama de ameaças de hoje – e é por isso que os testes de segurança fornecidos pela empresa são tão importantes.
- Como ajudamos com serviços de testes de segurança? Os testes de segurança certificados determinam se produtos, aplicações, redes e organizações podem resistir às ameaças à segurança cibernética. Nossa gama de serviços globais ajuda nossos clientes a compreender sua vulnerabilidade a ataques, bem como a garantir seus produtos de acordo com critérios específicos. Nossos testes de penetração podem imitar as abordagens de invasores cibernéticos reais e atuais, a fim de identificar fraquezas e vulnerabilidades de segurança relevantes. Esses testes podem tentar evitar a detecção, a fim de localizar possíveis violações e testar os recursos de monitoramento de segurança. Isto permite-nos oferecer recomendações abrangentes e relevantes que podem ajudar os nossos clientes a ajustar ou alocar os seus recursos para fortalecer a sua proteção e mitigar a sua exposição aos riscos.
- A nossa força reside no nosso pessoal, no compromisso que têm em melhorar as coisas, em resolver problemas que outros não conseguem, e na experiência, conhecimento e competências que adquiriram ao trabalhar com os nossos clientes ao longo de muitos anos.
- Trabalhamos com clientes em projetos que duram semanas ou vários anos e podemos ajudar a fornecer soluções e projetos de engenharia de defesa, muitas vezes envolvendo a coordenação de muitos parceiros, e a entrega de engenharia complexa de forma modular e escalável.
- A empresa declara-se apta a participar do sistema de aquisição ETEC por meio de seus parceiros tecnológicos nacionais.

Fonte: elaborado pelos Autores.

Para a **formação do Grupo de Decisores** responsáveis pela tomada de decisão, estes foram separados em cinco importantes grupos de hierarquia para a simulação, sob dois objetivos principais: 1) analisar e ponderar os Critérios de Decisão; e 2) analisar e ponderar as Empresas Hipotéticas Candidatas, julgando seu desempenho mediante o grau de atendimento aos Critérios propostos.

Corroborando a metodologia de Infante (2016, p. 114-115), pode ser estabelecida a importância relativa de cada Decisor por pesos, para a obtenção da pré-ordem final para a simulação em VisualPROMETHEE®, qual seja:

Quadro 5: Pesos dos Facilitadores e Decisores para a simulação.

PERFIL	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS	PESOS
GERENTE	NÍVEL MÁXIMO DE DECISÃO	4
ESPECIFICADOR	NÍVEL INTERMEDIÁRIO DE DECISÃO	3
OPERADOR	NÍVEL BÁSICO DE DECISÃO	2
MANTENEDOR	NÍVEL BÁSICO DE DECISÃO	1
FACILITADOR	NÍVEL NEUTRO DE DECISÃO	0

Fonte: Adaptado de Infante (2016, p. 107).

Esses pesos entre Decisores foram atribuídos em função no SisGAAz das Organizações Militares (OM) representadas por **10 (dez) Decisores** (Quadro 6). Para a simulação, a coleta de dados foi feita mediante entrevistas semi-estruturas *online* em Formulários Google® com profissionais oriundos dos quadros da pós-graduação da Escola de Guerra Naval.

Quadro 6: Perfis dos Participantes-Decisores.

#	DECISOR	PESO	TITULAÇÃO	ÁREA DE EXPERTISE	OBSERVAÇÃO
1	Decisor 1.1 – Gerente – Representante da DGePEM	4	Pós-Graduado em Análise de Sistemas, Data Base / Banco de Dados	Gestão e Tecnologia da Informação	Ex-Diretor do CASNAV Ex-Gerente SISGAZ
2	Decisor 1.2 – Gerente – Representante da DGePEM	4	CEPEM e Doutor em Administração	Estratégia e CT&I	Planejamento por Capacidades
3	Decisor 2 – Especificador – Nível Intermediário de Decisão – Representante do CASNAV	3	Doutor em Engenharia Mecânica	CT&I	Coordenador da CIT/EGN e representante da EGN na comissão de C&T da MB
4	Decisor 3 – Especificador – nível intermediário de decisão Representante do IPQM	3	Doutor em Administração	Simulação / Cenários	Líder na EGN em Prospectiva
5	Decisor 4 – Especificador – Nível Intermediário de Decisão – Representante do CAMR	3	Doutora em Estudos Marítimos	Simulação / Cenários e CT&I	Primeira tese do PPGEM em e-Navigation (VTMIS)
6	Decisor 5 – Especificador – Nível Intermediário de Decisão – Representante da DSAM	3	CEPEM e Doutor em Ciência Política	Estratégia e CT&I	Pós-Doc no INEST/UFF – Nuclear
7	Decisor 6.1 – Mantenedor – Nível Básico de Decisão – Representante da DCTIM	1	Mestrando INEST/UFF	Estratégia	Professor de Estratégia Naval da EGN
8	Decisor 6.2 – mantenedor – nível básico de decisão – Representante da DCTIM	1	Mestrado PPGEM	Gestão e Logística	Instrutor de Logística da EGN
9	Decisor 7.1 – Operador – Nível Básico de Decisão – Representante do COMOPNAV	2	CEPEM e Doutorando INEST/UFF	Estratégia e CT&I	Coordenador do Centro de Estudos Estratégicos da MB
10	Decisor 7.2 – Operador – Nível Básico de Decisão – Representante do COMOPNAV	2	CEPEM	Estratégia	Planejamento por Capacidades

Fonte: elaborado pelos Autores.

Por meio do envio de **Formulários Google com os critérios de 1 a 9**, foi estabelecido que cada Participante-Decisor deveria avaliar cada Critério de Decisão, e atribuir um valor de peso relativo entre eles. Por tratar-se de uma escala academicamente reconhecida e largamente utilizada para os mais diversos fins, foi adotada a Escala Numérica de Likert (Likert, 1932).

Quadro 7: Escala de Likert para atribuição dos pesos dos Critérios.

DECISOR									
NÍVEL DE DECISÃO									
PESO DO DECISOR									
REPRESENTANTE OM									
CRITÉRIOS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
PESOS									
ESCALA DE LIKERT (1 A 5)	IMPORTÂNCIA DO CRITÉRIO PARA O SISGAZ								
1	IRRELEVANTE								
2	POUCO IMPORTANTE								
3	IMPORTANTE								
4	MUITO IMPORTANTE								
5	INDISPENSÁVEL								

Fonte: Likert (1932).

Assim, para a atribuição das notas das Empresas Candidatas, foi adotada Escala Qualitativa de Desempenho de cinco pontos, também usada no VisualPROMETHEE® (2015, p.48) (Quadro 8).

Quadro 8: Escala numérica para atribuição das notas das Empresas Candidatas.

EMPRESA CONCORRENTE									
DECISOR									
NÍVEL DO DECISOR									
CRITÉRIOS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
PESOS PARA OS CRITÉRIOS									
ESCALA (1 A 5):	DESCRIÇÃO: ATENDIMENTO AO CRITÉRIOS DE 1 A 9								
1	MUITO RUIM / MUITO FRACA								
2	RUIM / FRACA								
3	MÉDIA								
4	BOA / FORTE								
5	MUITO BOA / MUITO FORTE								

Fonte: elaborado pelos Autores.

O preenchimento desse quadro foi feito por meio do envio de mais 03 (três) Formulário Google® (Empresas Alfa, Beta e Gama) para os Decisores. Esta escala se propõe avaliar em que grau a Empresa Candidata Hipotética atende aos Critérios de Decisão de 1 a 9.

Após a atribuição dos pesos pelos Decisores para Critérios e Empresas, o passo seguinte da metodologia é o do preenchimento (pelo Analista) da planilha de avaliação das Empresas para cada Decisor no VisualPROMETHEE®, em função do atendimento dos Critérios e das

CTO de cada Empresa. Com isso, obtém-se a **Matriz de Desempenho Geral Empresa – Decisor para cada Critério**.

Figura 6: Resultado geral da ponderação dos Decisores (1 a 10) para todos os Critérios.

	All	C1 - Tempo...	C2 - Mobild...	C3 - Atuaçã...	C4 - Seletiv...	C5 - Atuaçã...	C6 - Operaç...	C7 - Planeja...	C8 - Conscie...	C9 - Superio...	C10 - EMPR...
Unit		5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	unit
Cluster/Group											
Preferences											
Min/Max		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Weight		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Preference Fn.		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Thresholds		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- Q: Indifference		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics											
Minimum		1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	0.0
Maximum		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	1.0
Average		3.6	3.8	3.8	3.7	4.0	4.1	3.5	4.1	4.2	0.7
Standard Dev.		1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	1.1	0.8	0.5
Evaluations											
EMPRESA ALFA		(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)
EMPRESA BETA		(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)
EMPRESA GAMA		(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)	(all)

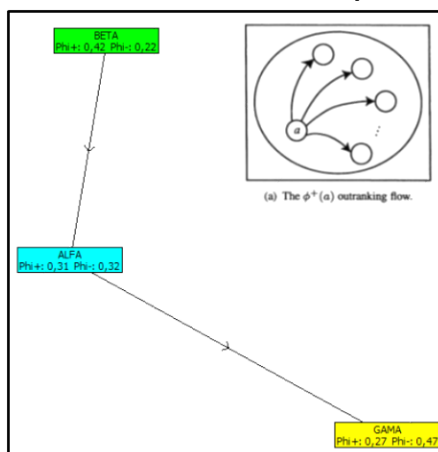
Fonte: VisualPROMETHEE®, elaborado pelos Autores a partir dos dados advindos dos Formulários Google®.

Seguindo o passo-a-passo do PROMETHEE II-GAIA, obtém-se a pré-ordem completa como resultado final desse processo de decisão.

4 Análise dos resultados

Após os ordenamentos individuais no software, recolhem-se os valores dos **Fluxos Líquidos $\Phi_i(a_i)$** adimensionais, obtidos de cada Decisor, que representam as suas preferências, e compõem a **Matriz de Avaliação Global $M(n \times k)$** , e os fluxos líquidos de cada Decisor que correspondem às avaliações das empresas (Figura 7).

Figura 7: Ordenamento final - DECISORES 1 a 10 – Software VisualPROMETHEE®.

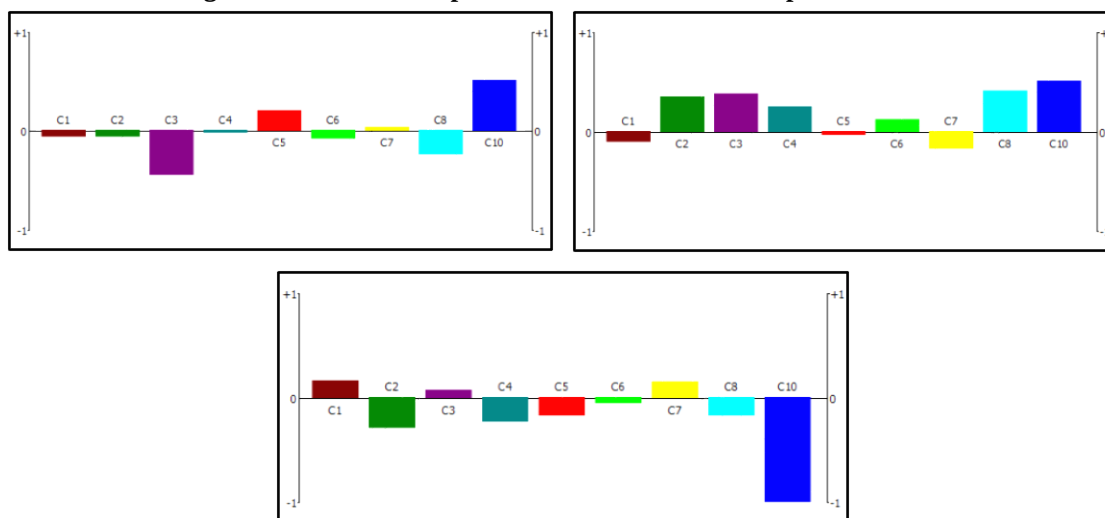


Fonte: elaborado pelos Autores.

Segundo os resultados acima advindos do VisualPROMETHEE®, **pode-se depreender que a Empresa Beta é a melhor escolha (Trade Off), e a Empresa Gama, a pior.**

Complementarmente, foi visto que os Perfis das Alternativas são particularmente úteis para apreciar visualmente a sua “qualidade” nos diferentes critérios. Logo, na análise dos resultados da simulação para as Empresas Candidatas, obteve-se, para as **Alfa, Beta e Gama** os seguintes perfis (Figura 8):

Figura 8: Perfis das Empresas Alfa, Beta e Gama, respectivamente.

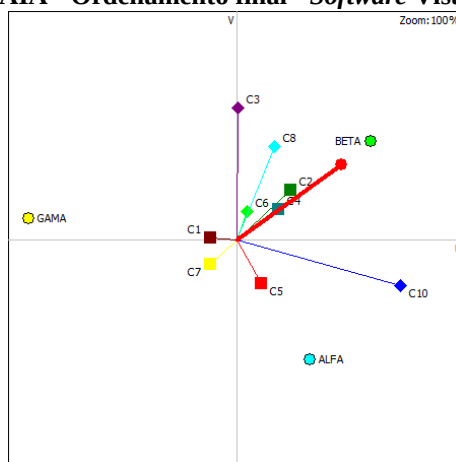


Fonte: elaborado pelos Autores, a partir da simulação.

Segundo os resultados acima, pode-se depreender que **a Empresa Beta (a do meio) é a melhor escolha (*Trade-Off*), e a Empresa Gama (a terceira), a pior, segundo a análise dos Perfis das Empresas Candidatas.**

Assim, a partir do ordenamento e da análise desses perfis, obtém-se o Plano GAIA que mostra, de forma gráfica, o Ordenamento Final das Empresas Concorrentes, dos Critérios de Decisão e do Eixo de Decisão (Figura 9):

Figura 9: Plano GAIA - Ordenamento final - Software VisualPROMETHEE®.



Fonte: elaborado pelos Autores, a partir da simulação.

A partir da análise do Plano GAIA, pode-se concluir que: 1) Há conflitos aparentes entre os Critérios, pois desses critérios estão orientados para a direita, no mesmo sentido do Eixo de Decisão π (em vermelho), enquanto que outros estão orientados para a esquerda, no sentido oposto ao eixo de decisão; 2) Os Critérios C8 - Aumento da Consciência Situacional Marítima – CSM, C6 - Aumento da capacidade de operação estruturada em rede, e C2 - Aumento da mobilidade estratégica, expressam preferências semelhantes pelas ponderações dos Decisores; 3) Os Critérios C7 - Aumento da capacidade de planejamento colaborativo e C5 - Aumento da capacidade de atuação remota são independentes entre si, devido a ortogonalidade vetorial entre eles; 4) Os Critérios C2 - Aumento da mobilidade estratégica e C7 - Aumento da capacidade de planejamento colaborativo são extremamente conflitantes entre si, por estarem em direções vetoriais praticamente opostas; 5) A Empresa Beta é muito melhor nos critérios C2 – Aumento da Mobilidade Estratégica e C4 – Operação estruturada em rede, por estar mais próximas a cada um desses vetores de Critérios; 6) Que a Empresa Gama deve ser totalmente descartada, pois

está posicionada no Plano, do lado oposto ao Eixo de Decisão π ; e 7) A Empresa Beta é a que mais próxima está do Eixo de Decisão π ; e 8) As Empresas Alfa e Gama estão bem afastadas do Eixo de Decisão π .

Logo, **a Empresa Beta é a melhor Alternativa, ou seja, essa é a Empresa Trade-Off, pois é representada por um ponto no plano mais próximo do eixo de decisão π , segundo análise do Plano GAIA.**

5 Discussão

Sendo o Ineditismo, a Inovação e a Contribuição são fatores imprescindíveis em um artigo científico, eles estão presentes no seguinte aspecto: com relação ao **Ineditismo**, verificou-se que estudos em Processo de Tomada de Decisão (PTD), baseado em Análise Multicritério (MCDA), voltados para análise de seleção da Alternativa de Compromisso (Empresa *Trade-Off*) para a estruturação do projeto de sistemas militares (como o SisGAAz) são ainda inéditos, ou seja, ainda não foram objeto de avaliação, tanto no cenário nacional e internacional.

Com relação à **Inovação**, verifica-se que o desenvolvimento e aplicação da teoria que embasa os modelos de tomada de decisão em grupo hierarquizado e sem consenso de opiniões, com auxílio de métodos multicritério e simulação computacional, mostra-se um passo rumo a inovação em gestão tecnológica para o desenvolvimento e estruturação de projeto de extrema complexidade como o SisGAAz. A metodologia proposta inova também ao integrar critérios tecnológicos e operacionais do sistema, decisores qualificados e empresas hipotéticas, segundo o modelo de gestão ETEC.

Como **Contribuição** para a teoria em processos de tomada de decisão, ao se elaborar um artigo derivado de extensa pesquisa bibliográfica, procura-se demonstrar que os trabalhos originais citados nas Referências são também férteis e replicáveis, e essas são qualidades altamente desejáveis para a pesquisa realizada, estabelecendo conexões com avanços teóricos anteriores e identificando possíveis direções teóricas futuras e inovadoras, de forma a contribuir, dessa feita, para o progresso das Ciências Administrativas e de gestão dos elementos de Processos de Tomada de Decisão (PTD) afetos à Governança e Defesa nacionais.

6 Conclusões/Considerações finais

Após a realização da simulação para o estudo de caso hipotético para o SisGAAz, com o verificou-se ser a Empresa Beta a empresa vencedora, dadas as premissas assumidas. Os resultados apontam para a compatibilidade entre o método e uma possibilidade hipotética, confirmando a sua capacidade de dotar o órgão público decisor de uma ferramenta metodológica capaz de qualificar a decisão, com base em um modelo que revele as preferências e atributos relevantes para a seleção de uma empresa *Trade-Off* para o desenvolvimento do SisGAAZ.

Dentre as limitações do estudo destacam-se o grau de confidencialidade dos dados de critérios sistêmicos advindos de instituições militares voltadas para a defesa, como no estudo de caso aplicado à Marinha do Brasil e ao SisGAAz, bem como as limitações impostas para a versão do VisualPROMETHEE® para a análise feita, com o número máximo de decisores e critérios limitados em 10 (dez). Para o caso real, estima-se um número bem maior de critérios, de decisores e de empresas, aumentando a complexidade da análise.

A pesquisa e seus resultados suscitam diversas alternativas para a continuidade, ou seja, estudos futuros. No campo da gestão de processos de tomada de decisão, compreende-se que há espaço para a investigação de outras metodologias que auxiliem também na seleção de melhores alternativas, comparando esses estudos propostos ao apresentado no presente artigo.

7 Referências

- Allison, G. T.; Zelikow, P. (1999). **“Essence of decision: explaining the Cuban missile crisis”**. 2. ed. New York: Addison-Wesley.
- Brasil. Marinha do Brasil. (2019). **Relatório de Gestão de 2019**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/relatorio-de-gestao-2019.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- Brasil. Marinha do Brasil. (2020). **Relatório de Gestão de 2020**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/relatorio-de-gestao-2020.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- Brasil. Marinha do Brasil. (2021). **Relatório de Gestão de 2021**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/relatorio-de-gestao-2021.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- Brasil. Marinha do Brasil. (2022). Diretoria de Gestão de Programas Estratégicos da Marinha (DGePEM). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2022. **Substrato do Conceito Operacional (CONOPS) e Elementos de Arquitetura do Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul**.
- Brans, J.P.; Mareschal, B. (2005). **“Promethee methods”**. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **“Multiple Criteria decision analysis: state of the art surveys”**. Boston: Springer. (pp. 163-189).
- Dantas, Régis F. (2022). **Modelo híbrido multicritério e de engenharia econômica para suporte à decisão na gestão de frota**. Revista de Administração Mackenzie. RAM, São Paulo, 23(4), eRAMR220138, ISSN 1678-6971 (versão eletrônica). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eRAMR220138.pt>. Acesso em: 09 nov. 2023.
- Infante, Carlos Eduardo Durange de Carvalho. (2016). **Estruturação de modelos de decisão em grupo multicritério para tomada de decisão estratégica**. [Tese de doutorado, UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia de Produção].
- Likert, R. (1932). **“A Technique for the Measurement of Attitudes”**. Archives of Psychology v. 140: (pp. 1-55).
- Mareschal, B; Brans, J.P. (1988). **“Geometrical representation for MCDM, the GAIA procedure”**. European Journal of Operational Research, v. 34. (pp. 69-77).
- Mingers, J.; Rosenhead, J. (2004). **“Problem Structuring Methods in Action”**. European Journal of Operation Research, v. 152, (pp.530 – 554).
- Roy, B. (1996). **“Multicriteria Methodology for Decision Aiding”**. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Simon, Herbert A. (1955). **“A Behavioral Model of Rational Choice”**. Quartely Journal of Economics, vol.69, no. 1. (pp. 99-118).
- TCU. Tribunal de Contas da União (2020). **Etapa de Negociação em Contratações por Encomenda Tecnológica**. Brasília, DF. Disponível em: https://portal.tcu.gov.br/data/files/8E/C1/63/06/3F3477100CE24177F18818A8/ETEC_negociacao_encomenda_tecnologica.pdf. Acesso em: 11 fev. 2023.
- Vincke, P. (1992). **“Multicriteria decision-aid”**. Londres: John Wiley & Sons.
- Visual Promethee. (2015). **“Get Started with Visual PROMETHEE 1.5”**. Disponível em: <https://bertrand.mareschal.web.ulb.be/assets/vpmanual.pdf> . Acesso em: 09 abr. 2024.
- Xavier, Carlos Guimarães. (2019). **MCDA - Análise de Decisão Multicritério como Ferramenta de Avaliação de Instalações Portuárias: O Caso dos Terminais de Contêineres Brasileiros**. [Dissertação Mestrado Profissionalizante em Administração, FGV-EBAP]. Disponível em: bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/11228/Carlos_Xavier_Dissertacao_EBAP_MIM.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 04 set.