MODELAGEM MULTICRITÉRIO COM VFT E O MÉTODO PROMETHEE-SAPEVO-M1 PARA ORDENAÇÃO DE TRANSPORTADORAS

[1]Laís Sant'Anna Fonseca, [1]Carlos Francisco Simões Gomes, [2]Marcos dos Santos, [1]Diogo Ferreira de Lima Silva

[1]Universidade Federal Fluminense (UFF)
Rua Passo da Pátria, 156 Campus Praia Vermelha - São Domingos, Niterói, RJ 24.210-240

[2]Instituto Militar de Engenharia (IME)
Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ 22.290-270

laissf@id.uff.br, cfsg1@bol.com.br, marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br, diogofls@id.uff.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de caso relacionado ao processo decisório de uma organização sobre a análise de transportadoras candidatas a atuar em um trecho de grande volumetria, entre Belo Horizonte (MG) e Jundiaí (SP). A abordagem usada nesta pesquisa consiste na aplicação do *Value-Focused Thinking* (VFT) para a estruturação do problema de decisão e do método PROMETHEE-SAPEVO-M1 para a ordenação de cinco transportadoras. Cinco critérios foram utilizados nos processos decisórios, incluindo critérios qualitativos e quantitativos. Os resultados foram consistentes com as expectativas e ilustrações que detalham o uso dos procedimentos e o apoio do *software*PROMETHEE-SAPEVO-M1 Web.

PALAVRAS-CHAVE. PROMETHEE, SAPEVO, VFT.

Tópicos (ADM – Apoio à Decisão Multicritério, L&T – Logística e Transportes)

ABSTRACT

This paper presents a case study related to the decision-making process of an organization regarding the analysis of carriers that are candidates to operate on a high-volume route between Belo Horizonte (MG) and Jundiaí (SP). The approach used in this research consists of applying Value-Focused Thinking (VFT) to structure the decision problem and the PROMETHEE-SAPEVO-M1 method for ranking five carriers. Five criteria were used in the decision process, including both qualitative and quantitative criteria. The results were consistent with the expectations, and illustrations detailing the use of the procedures and support of a software PROMETHEE-SAPEVO-M1 Web.

KEYWORDS. PROMETHEE, SAPEVO, VFT.

Tópicos (ADM – Apoio à Decisão Multicritério, L&T – Logística e Transportes)

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

1. Introdução

O crescimento nos fluxos de cargas é um fator fundamental nas mudanças contemporâneas diante da economia em escala global. As considerações dessas mudanças incluem fatores estruturais e operacionais. As mudanças estruturais principalmente envolvem os sistemas de manufatura enquanto mudanças operacionais dizem respeito ao transporte de carga (distribuição) [Hesse e Rodrigue, 2004].

Além disso, com o rápido desenvolvimento do *e-commerce*, da globalização, da necessidade de produção *just-in-time*, além da complexidade da logística/cadeia de suprimentos, há uma necessidade significativa de eficiência e eficácia na gestão de movimentos de mercadorias. As organizaçõestornaram-se cada vez mais dependentes do sistema de transporte de carga para a entrega das mercadorias [Chen e Miller-Hooks, 2012]. Especificamente, o transporte rodoviário é essencial, pois cerca de 60% de todo o frete terrestre (que inclui transporte rodoviário e ferroviário) é feito em estradas [Alam *et al.*, 2015].

A maioria das transportadoras usa processos de *bidding* para adquirir serviços de transporte, mirando contratos anuais. Assim, as empresas conseguem reduzir seus custos operacionais mediante parcerias com as transportadoras vencedoras. No entanto, além do preço ofertado, deve-se considerar o nível de serviço e outras variáveis que são importantes para determinar qual transportadora deve atender um trecho[Sheffi, 2004].

Ao longo das últimas décadas, métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), do inglês Multi-Criteria Decision Making/Aiding (MCDM/A), têm sido desenvolvidos para apoiar decisores na avaliação de alternativas consideradas em processos decisórios complexos, que frequentemente envolvem critérios conflitantes [Basílio *et al.*, 2022]. Dentre os tipos de problema abordados por métodos MCDM/A, destacam-se as problemáticas de descrição, escolha, ordenação e classificação [Roy, 1996]. Na problemática de ordenação, tratada no presente trabalho, o(s) decisor(es) tem por objetivo construir um *ranking* das alternativas de acordo com seus desempenhos no conjunto de critérios.

Neste estudo, uma abordagem multicritério é utilizada para ordenar transportadoras concorrentes a atuar em um trecho servido por uma empresa de bebidas no Brasil. Inicialmente, uma abordagem baseada no *Value*-Focused *Thinking* (VFT) [Keeney, 1994, 1996] é utilizada para estruturar o problema de decisão. Em seguida, o método PROMETHEE-SAPEVO-M1 [Moreira *et al.*, 2020] é aplicado para ordenar as alternativas com apoio do *software* [Moreira *et al.*, 2023].

O artigo está organizado conforme segue. A Seção 2 apresenta um breve referencial teórico, com informações sobre as técnicas VFT e PROMETHEE-SAPEVO-M1. A Seção 3 o estudo de caso é detalhado com a apresentação das etapas dos procedimentos e análise dos resultados. Por fim, as conclusões do artigo são apresentadas na Seção 4.

2. Referencial Teórico

2.1. *Value-Focused Thinking*

A abordagem focada em valor, proposta por [Keeney, 1994], possui grande relevância prática e acadêmica, auxiliando a estruturação de processos decisórios com foco no valor identificado pelo decisor. Assim, ao invés de focar no problema mediante alternativas encontradas no primeiro momento, o decisor analisará a situação sob o ponto de vista dos valores que deseja alcançar, sendo este foco usado em todo o processo de estruturação do problema [Keeney 2004].

Dentre as etapas do VFT, destacam-se a declaração do problema (*problem statement*); definição dos valores; objetivos fundamentais e de meios; critérios e alternativas do modelo de decisão. Na estruturação do problema de decisão, deve-se iniciar com o contexto da decisão, em seguida, os objetivos fundamentais e meios e as relações entre eles devem ser identificadas [Morais *et al.*, 2013]. Os objetivos fundamentais são as razões essenciais para a resolução de problemas; e os objetivos meios são as formas de atingir os fins.

Assim, os valores devem ser declarados como objetivos, fornecendo a base de interesse no problema e orientando o esforço para resolvê-lo. Um objetivo, assim, pode ser entendido como um valor declarado de uma forma adequada, normalmente iniciando por um verbo [Keeney, 2020]. Já os critérios são entendidos como indicadores mensuráveis que retratam determinados objetivos.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

Além disso, a abordagem VFT indica que os objetivos devem ser usados para estimular a criação do conjunto de alternativas do problema [Siebert e Keeney 2015].

Existem vários procedimentos que auxiliam o uso da abordagem VFT [Keeney, 1996]. Por exemplo, durante a identificação dos objetivos relacionados aos valores, pode-se realizar entrevistas com os tomadores de decisão e *stakeholders* com técnicas para estimular a criatividade [Costa 2016]. Algumas dessas técnicas podem ser observadas na Tabela 1 .

Tabela 1: Questionamentos para Estimular a Criatividade

Técnica	Possíveis questionamentos
1º Elaborar uma *Wish List*	O que você quer?
	O que você valoriza?
2º Identificar alternativas	Quais seriam alternativas perfeitas, terríveis e razoáveis?
	O que é bom ou ruim em cada uma delas?
3º Identificar problemas e fraquezas	O que tem de certo e errado na organização?
	O que precisa ser corrigido?
4º Prever consequências	O que aconteceu que foi bom e ruim?
	Qual é a sua preocupação com o que pode ocorrer?
5º Verificar metas, restrições e direcionamentos	Quais são suas aspirações?
	Quais limitações são colocadas sobre você?
6º Avaliar diversas perspectivas	O que preocuparia seu concorrente?
	No futuro, quais seriam suas preocupações?
7º Definir os objetivos estratégicos	Quais são seus objetivos finais?
	Quais são seus valores fundamentais?
8º Estabelecer os objetivos genéricos	Que objetivos você tem para seus clientes, funcionários, acionistas e para você mesmo?
	Quais objetivos ambientais, sociais, econômicos, de saúde e segurança são importantes?
9º Encontrar os objetivos estruturais	Siga as relações meios-fins: por que esse objetivo é importante e como você pode alcançá-lo?
	Especifique: o que você quer dizer com esse objetivo?
10º Mensurar os objetivos	Como você avalia o cumprimento desse objetivo?
	Por que o objetivo A é mais importante que o B?

Fonte: Keeney [1996]

2.2. Método PROMETHEE-SAPEVO-M1

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations)* foi apresentado por Brans e Vincke [1985] e apresenta uma vasta gama de aplicações e desenvolvimentos teóricos. Este procedimento utiliza comparações par-a-par para avaliar o conjunto de alternativas de acordo com seus desempenhos em critérios. Funções de preferência são aplicadas às diferenças de desempenho entre pares de alternativas em cada critério e, em seguida, os valores obtidos são agregados e utilizados no cálculo de fluxos de sobreclassificação [J.-P. Brans e De Smet, 2016]. O fluxo de sobreclassificação positivo de uma alternativa indica a intensidade da preferência dessa alternativa em relação as outras enquanto o fluxo negativo indica a intensidade com que essa alternativa é sobreclassificada pelas demais alternativas do conjunto.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

Por sua vez, o método SAPEVO-M [Gomes *et al.*, 2020] consiste em uma evolução do método SAPEVO [Gomes *et al.* 1997] que considera múltiplos decisores no processo decisório. Estes métodos usam escalas ordinais transcritas por termos linguísticos que expressam as preferências do decisor, representando, assim, um valor relativo de importância e agregando esta informação para os dados cardinais. A principal característica desses procedimentos está relacionada ao processo de transformação ordinal das preferências, utilizado para obter o grau de relação de preferência entre as alternativas em cada critério bem como o grau de importância do critério, gerando seus pesos [Gomes *et al.*, 2020].

O método PROMETHEE-SAPEVO-M1 [Moreira *et al.*, 2020] foi proposto como uma abordagem híbrida entre os métodos SAPEVO-M e PROMETHEE, proporcionando avaliações de dados qualitativos de forma ordinal e os dados quantitativos de forma cardinal. Além disso, permite-se uma estrutura ordinal para a obtenção dos pesos com o intuito de tratar a subjetividade do decisor. A modelagem gera três formas de avaliação das preferências: parciais, totais ou por intervalos, permitindo ao decisor analisar a sensibilidade dos resultados por meio de comparações entre as ordenações obtidas.

O PROMETHEE-SAPEVO-M1 baseia-se na estruturação básica do método PROMETHEE e na adição das técnicas do SAPEVO-M, possibilitando ao decisor a avalição de *inputs* quantitativos e qualitativos em um único processo decisório. A modelagem ajuda também os decisores na atribuição de pesos por meio da lógica dos procedimentos SAPEVO.

Digamos que o conjunto de alternativas é representado por A, onde $a_i \in A,\ i = 1,\dots n$; e considere que o conjunto de critérios é subdividido em critérios qualitativos ($h_j, j = 1,\dots l$) e de critérios quantitativos ($g_j, j = 1,\dots k$).

A avaliação qualitativa é definida com comparações par-a-par entre as alternativas por meio de uma escala de escala de importância, como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2: Escala de importância

Absolutamente pior / absolutamente menos importante	-3
Muito pior / muito menos importante	-2
Pior / menos importante	-1
Equivalente / tão importante quanto	0
Melhor / mais importante	1
Muito melhor / muito mais importante	2
Absolutamente melhor / absolutamente mais importante	3

A partir dessas comparações, obtém-se uma matriz de dimensão $n \times n$ para cada critério qualitativo, com entradas referentes a atribuição na escala comparativa ilustrada na Tabela 2. Por exemplo, o valor 2 na segunda linha e terceira coluna da matriz indicaria que a alternativa a_2 é muito melhor que a alternativa a_3 no critério em questão. Seja a matriz $M^{(j)}$ obtida para o critério qualitativo h_j.

$$M^{(j)} = \begin{array}{c} \\ \boldsymbol{a_1} \\ \boldsymbol{a_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{a_n} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \boldsymbol{a_1} & \boldsymbol{a_2} & \dots & \boldsymbol{a_n} \end{array} \\ \begin{bmatrix} m_{11}^{(j)} & m_{12}^{(j)} & \dots & m_{1L}^{(j)} \\ m_{21}^{(j)} & m_{22}^{(j)} & \dots & m_{2L}^{(j)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1}^{(j)} & m_{n2}^{(j)} & \dots & m_{nL}^{(j)} \end{bmatrix} \end{array}$$

Inicialmente, um valor é atribuído a cada alternativa pelo somatório dos valores recebidos pelas comparações com as demais. Assim, $h_j(a_i) = \sum_{k=1}^{n} m_{ik}^{(j)}$. Então, aplica-se uma normalização ao valor das alternativas, obtendo o valor final de cada alternativa baseado nas comparações par-a-par entre alternativas do conjunto. Esse valor é dado por:

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

$$v_j(a_i) = \frac{h_j(a_i) - \min_i h_j(a_i)}{\max_i h_j(a_i) - \min_i h_j(a_i)} \qquad (1)$$

A partir dos valores obtidos acima, uma nova matriz é formulada. Dessa vez, o valor associado às entradas da matriz é a diferença entre os valores obtidos para cada alternativa no critério específico. Assim, $P_j(a_i, a_u) = v_j(a_i) - v_j(a_i)$. Valores de diferença negativos são anulados com uma função linear.

Na aferição das alternativas dos critérios quantitativos, é preservado o diagnóstico do PROMETHEE, calculado a partir das diferenças nas avaliações das alternativas e a aplicação da função de preferência específica de cada critério, considerando também a direção de preferência dos critérios (monotônico de lucro ou monotônico de custo). Existem seis funções clássicas na literatura do PROMETHEE e, dependendo da função escolhida, parâmetros adicionais são necessários para a aplicação, como os limiares de indiferença e preferência. Mais informações podem ser obtidas em [J.-P. Brans e De Smet, 2016]. Na aplicação deste artigo, o critério verdadeiro será considerado, onde esses parâmetros adicionais não são necessários.

A obtenção dos pesos considera tanto os critérios qualitativos como os quantitativos no conjunto. Diante da escala de importância ilustrada na Tabela 2, gera-se comparações entre os critérios do problema de decisão. As normalizações para obtenção do peso final de cada critério seguem a mesma noção utilizada na obtenção do valor final das alternativas em critérios qualitativos. Porém, insere-se um valor constante dado como soma mínima e um valor dado como soma máxima, obtidos respectivamente como $(\mathrm{n}-1)\times -3$ e $(n-1)\times 3$. Assim, primeiro calcula-se o somatório dos valores de comparação para cada critério. Em seguida, aplica-se a equação abaixo para encontrar os valores normalizados.

$$v(criterio_j) = \frac{\sum a_j - (soma\ mínima)}{(soma\ máxima) - (soma\ mínima)} \qquad (2)$$

Por fim, valores obtidos para cada critério são ainda normalizados de modo que sua soma seja igual a 1. Assim:

$$w_j = \frac{v(criterio_j)}{\sum_j v(criterio_j)} \qquad (3)$$

As matrizes normalizadas e os pesos possibilitam o cálculo do índice de preferência ponderada global para cada par do conjunto de alternativas, dado por $\pi(a_u, a_v)$. Esse índice indica uma intensidade de preferência da alternativa a_u comparado com a alternativa a_v.

$$\pi\,(a_u, a_v) = \sum_{j=1}^{n} w_j\, P_j(a_u, a_v) \qquad (4)$$

Na modelo, há três tipos de análises concomitantes: preferência parciais, totais e com intervalos, oriundas do PROMETHEE I, II e III [J.-P. Brans e De Smet, 2016]. A avaliação de preferências parciais usa os fluxos de sobreclassificação positivo (5) e negativo (6). Enquando o fluxo positivo indica a média das intensidades alcançadas por a_u diante das outras alternativas, o fluxo negativo indica o valor médio de intensidade com que essa alternativa é superada pelas demais.

$$\phi^+(a_u) = \frac{1}{n-1} \times \sum_{a_v \in A \setminus a_u}^{n} \pi(a_u\,, a_v) \qquad (5)$$

$$\phi^-(a_u) = \frac{1}{n-1} \times \sum_{a_v \in A \setminus a_u}^{n} \pi(a_v\,, a_u) \qquad (6)$$

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

Os fluxos resultam em uma pré-ordem parcial das alternativas diante das fórmulas, seguindo as regras obtidas pelas equações (7), (8) e (9).

$$a_u \text{ é } preferível \text{ a } a_v \ (a_u P a_v) \ se \begin{cases} \phi^+(a_u) > \phi^+(a_v) \ e \ \phi^-(a_u) < \phi^-(a_v) \\ \phi^+(a_u) = \phi^+(a_v) \ e \ \phi^-(a_u) < \phi^-(a_v) \\ \phi^+(a_u) > \phi^+(a_v) \ e \ \phi^-(a_u) < \phi^-(a_v) \end{cases} \quad (7)$$

$$a_u \text{ é } indiferente \text{ a } a_v \ (a_u I a_v) \ se \ \phi^+(a_u) = \phi^+(a_v) \ e \ \phi^-(a_u) = \phi^-(a_v) \quad (8)$$

$$a_u \text{ é } incompatível \text{ a } a_v \ (a_u R a_v) \ se \begin{cases} \phi^+(a_u) > \phi^+(a_v) \ e \ \phi^-(a_u) > \phi^-(a_v) \\ \phi^+(a_u) < \phi^+(a_v) \ e \ \phi^-(a_u) < \phi^-(a_v) \end{cases} \quad (9)$$

A avaliação total diz respeito ao uso das relações de preferência (*P*) e indiferença (*I*), com a aplicação do fluxo líquido apresentado na equação (10), possibilitando uma ordem obtida com as regras estabelecidas em (11) e (12).

$$\Phi(a_1) = \phi^+(a_1) - \phi^-(a_1) \quad (10)$$

$$a_1 \text{ é } preferível \text{ a } a_2 \ (a_1 P a_2) \ se \ \phi(a_1) > \phi(a_2) \quad (11)$$

$$a_1 \text{ é } indiferente \text{ a } a_2 \ (a_1 I a_2) \ se \ \phi(a_1) = \phi(a_2) \quad (12)$$

A avaliação por intervalo aplica um procedimento para encontrar intervalos para o fluxo líquido de cada alternativa a_i do conjunto, a partir do cálculo de um limite inferior e um superior $[x(a_i),\ y(a_i)]$ (13).

$$\begin{cases} x_{a_i} = \phi(a_i) - \propto \sigma_{a_i} \\ y_{a_i} = \phi(a_i) + \propto \sigma_{a_i} \end{cases} \quad (13)$$

A regra de ordenação é, então, estabelecida como:

$$a_u \text{ é } preferível \text{ a } a_v \ (a_u P a_v) \ se \ x_{a_u} > y_{a_v} \quad (14)$$

$$a_u \text{ é } indiferente \text{ a } a_v \ (a_u \ I \ a_v) \ se \ x_{a_u} \leq y_{a_v} \ e \ x_{a_v} \leq y_{a_u} \quad (15)$$

3. Estudo de Caso

A empresa X realiza um processo de leilão, conhecido como *bidding*, para selecionar as transportadoras que atuarão em trechos de operação de entregas. Os contratos possuem duração de dois anos, e o processo inclui a cotação via mercado de mais de 480 rotas e cerca de 43 transportadoras participantes.

O presente estudo de caso foi aplicado a um dos trechos que possui uma alta volumetria para a companhia. O intuito é obter uma ordenação das transportadoras concorrentes a partir de uma abordagem multicritério. A abordagem utilizada neste estudo de caso inclui a estruturação do problema via VFT e a aplicação do método PROMETHEE-SAPEVO-M1 a partir de um *software* [M. A. L. Moreira *et al.*, 2023] disponível para uso acadêmico.

Inicialmente, o problema de decisão foi estruturado com uma abordagem VFT. Reuniões foram realizadas com o especialista da empresa X (decisor do processo) com o intuito de verificar os valores envolvidos no processo decisório. Os objetivos fundamentais foram obtidos e hierarquizados conforme apresenta a Tabela 2.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

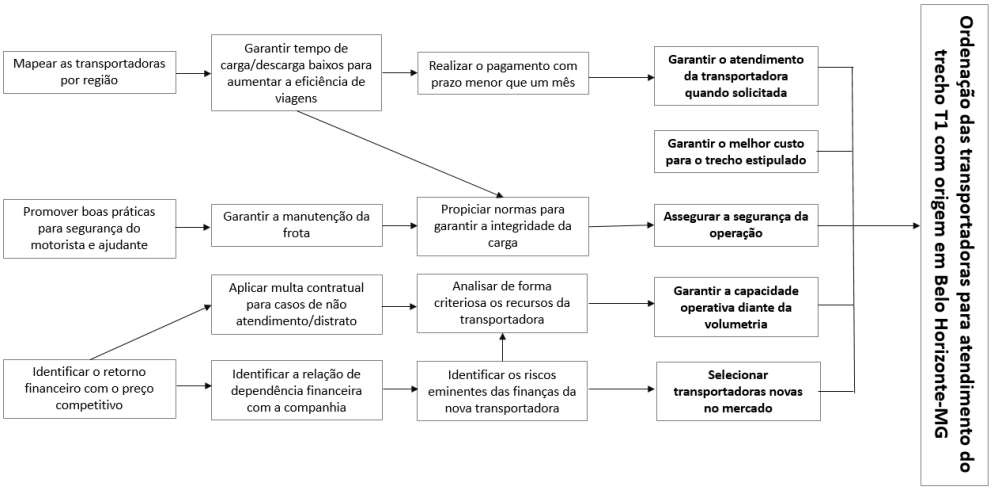
Tabela 2: Objetivos Fundamentais

Declaração do Problema: obter uma ordenação das transportadoras candidatas para atendimento do trecho de entrega T1.
1. Garantir o atendimento da transportadora no momento que é solicitado o transporte
1.1. Mapear as transportadoras por região
1.2. Garantir tempo de carga e descarga baixos que garantem maior eficiência no número de viagens
1.3. Realizar o pagamento para as transportadoras em menos de um mês
2. Garantir o melhor custo para o trecho estipulado
3. Assegurar a segurança da operação
3.1. Garantir a manutenção da frota
3.2. Promover boas práticas para segurança do motorista e ajudante
3.3. Propiciar normas para garantir integridade da carga
4. Garantir a capacidade operativa diante do volume de pallet
4.1. Aplicar multa contratual para casos de não atendimento/distrato
4.2. Analisar de forma criteriosa os recursos da transportadora
5. Selecionar transportadoras novas no mercado
5.1. Identificar o retorno financeiro devido ao preço competitivo de entrada da transportadora no *bidding*
5.2. Identificar a relação de dependência financeira da transportadora com a companhia
5.3. Identificar os riscos eminentes com a nova transportadora (próximo à falência, *compliance* duvidoso, sem capacidade operativa)

Os objetivos fundamentais são pontos de grande importância buscados pelos especialistas no processo decisório. A hierarquia desses objetivos se dá de acordo com a ordem de importância, sendo 1 o objetivo mais importante e 5, o menos importante.

A Figura 1 apresenta a rede de objetivos meio-fim, ilustrando uma etapa importante do VFT relacionada a descrição e entendimento dos objetivos revelados pelos decisores mediante seus valores. Percebe-se que vários objetivos são entendidos como meio para chegar a um ou um conjunto de objetivos do tipo fim.

Figura 1: Rede de objetivos meio-fim.



Em seguida, de acordo com a análise da hierarquia dos objetivos fundamentais e da rede

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

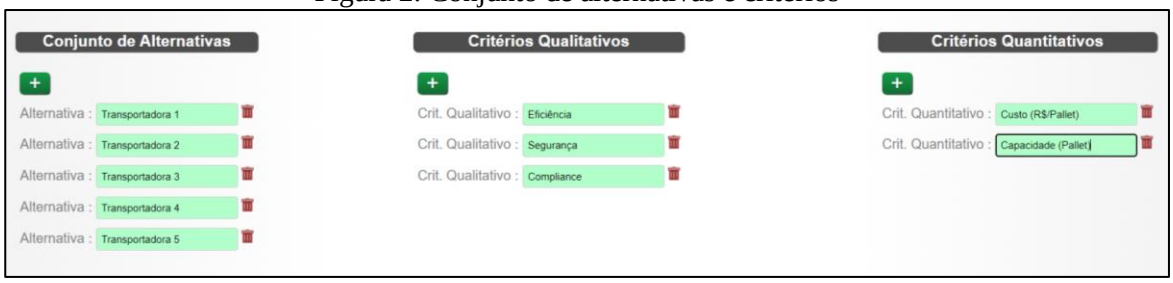
dos objetivos meio-fim, foi possível estabelecer critérios para a tomada de decisão. A Tabela 3 apresenta o conjunto de critérios e informações relacionadas aos mesmos.

Tabela 3: Conjunto de critérios

Tipo de Critério	Nome do Critério	Definição	Medição
Quantitativo	Custo	Custo estimado para cada pallet transportado na frota	R$/Pallet
Quantitativo	Capacidade	Volume estimado no qual a transportadora consegue ofertar no trecho	Pallet
Qualitativo	*Compliance*	Regularização da empresa junto ao SERASA, Receita e Justiça Federal	Preferência (absolutamente pior - absolutamente melhor)
Qualitativo	Eficiência	Atendimento da transportadora no momento que é solicitado de forma rápida, organizada e respeitando as regras/boas práticas da empresa	Preferência (absolutamente pior - absolutamente melhor)
Qualitativo	Segurança	Manutenção/Limpeza da frota, qualificação e boa conduta do motorista no trajeto/carga/descarga	Preferência (absolutamente pior - absolutamente melhor)

Para aplicação do método PROMETHEE-SAPEVO-M1, utilizou-se um software disponível em http://www.promethee-sapevo.com/home.php. Inicialmente, deve-se escrever o nome do projeto, área e propósito (acadêmico ou empresarial). Em seguida, os dados do problema são inseridos na plataforma para os eventuais cálculos do método. A plataforma disponibiliza os campos para que sejam inseridos os nomes de cada alternativa e critério na etapa de estruturação do problema, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2: Conjunto de alternativas e critérios



A Figuras 3 apresenta as comparações par-a-par entre alternativas nos critérios qualitativos do problema: eficiência, segurança e *compliance*. O usuário pode escolher dentre sete opções distintas, dadas por: absolutamente pior, muito pior, pior, equivalente, melhor, muito melhor e absolutamente melhor.

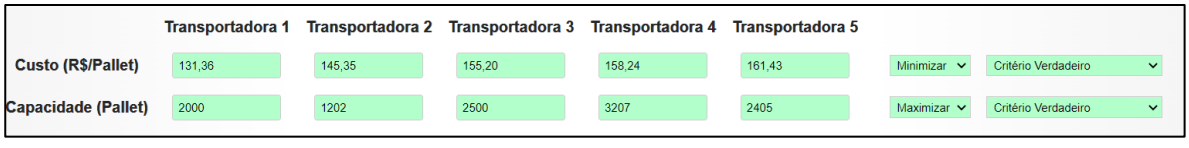
DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

Figura 3: Comparações para Critérios Qualitativos



No caso dos critérios quantitativos, deve-se indicar as avaliações das alternativas, a direção de preferência relacionada ao critério, além de indicar o tipo do critério. Nesta pesquisa, os critérios quantitativos foram definidos com o tipo Critério Verdadeiro, e assim, parâmetros adicionais não são necessários. A Figura 4 apresenta essa etapa.

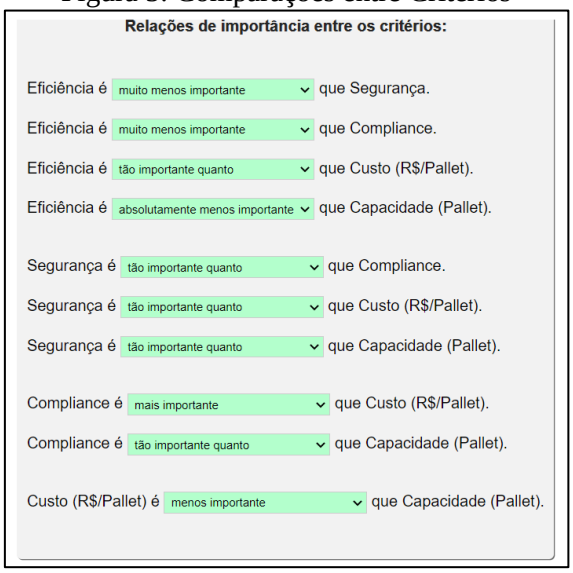
Figura 4 – Avaliação Quantitativa no critério custo e capacidade



A Figura 5 apresenta o processo de obtenção dos pesos no *software*. Como mencionado na Seção 2.2, em procedimentos SAPEVO, os pesos são obtidos mediante comparações par-a-par entre os critérios usando uma escala verbal.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

Figura 5: Comparações entre Critérios



A Figura 6 apresenta a ordenação obtida pelo método PROMETHEE-SAPEVO-M1. Para cada alternativa, os fluxos positivo, negativo e líquido são apresentados. A ordenação obtida indica Transportadora 1 (0,173) na primeira posição, seguida pela Transportadora 3 (0,079), Transportadora 2 (0,006), Transportadora 5 (-0,107) e Transportadora 4 (-0,151).

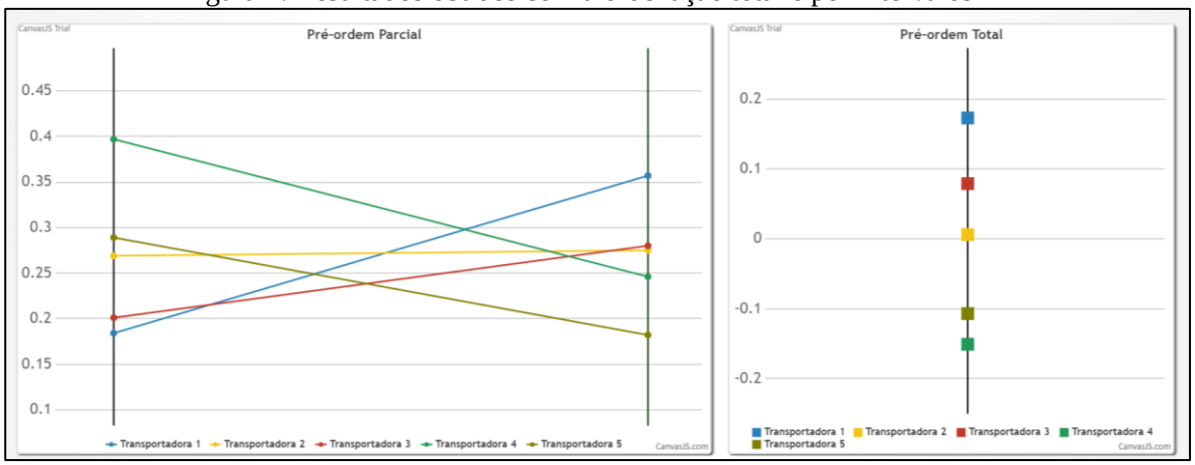
Figura 6: Resultados obtidos com o método PROMETHEE-SAPEVO-M1

Índices de Preferência Global Ponderados

	Transportadora 1	Transportadora 2	Transportadora 3	Transportadora 4	Transportadora 5	Fluxo Positivo	Fluxo Líquido
Transportadora 1	0	0.11	0.068	0.122	0.057	0.357	0.173
Transportadora 2	0.025	0	0.069	0.123	0.058	0.275	0.006
Transportadora 3	0.053	0.053	0	0.087	0.087	0.28	0.079
Transportadora 4	0.053	0.053	0.053	0	0.087	0.246	-0.151
Transportadora 5	0.053	0.053	0.011	0.065	0	0.182	-0.107
Fluxo Negativo	0.184	0.269	0.201	0.397	0.289		

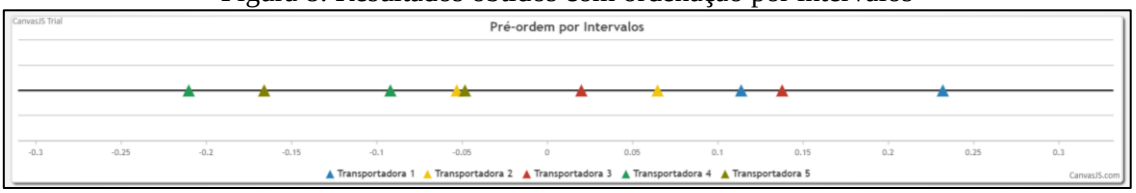
As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados obtidos com as regras de ordenação parcial, total e por intervalos para as 5 transportadoras envolvidas no processo.

Figura 7: Resultados obtidos com a ordenação total e por intervalos



DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

Figura 8: Resultados obtidos com ordenação por intervalos



6. Conclusão

Este artigo teve como objetivo apresentar um estudo de caso baseado em uma empresa de bebidas, diante de um cenário de tomada de decisão sobre qual seria a melhor ordem para escolha de transportadora atuante no trecho de grande volume, com origem em Jundiaí (SP) e destino em Belo Horizonte (MG). Este é um problema complexo que envolve múltiplos critérios e alternativas. Assim, uma abordagem de Apoio à Decisão Multicritério foi utilizada.

Inicialmente, o VFT foi utilizado para estruturar o problema de decisão. A partir de conversas com os decisores, um conjunto de objetivos foi estabelecido a partir dos seus valores. Os objetivos foram distinguidos entre fundamentais e meio e, assim, uma rede de objetivos foi apresentada. Cinco critérios foram, então, usados para mensurar os objetivos de tipo fim neste processo decisório, sendo eles: custo, capacidade de *pallet*, conformidade, segurança e eficiência. Esse conjunto de critérios foi usado para analisar 5 transportadoras, sendo estas as alternativas do problema de decisão.

Para ordenar as alternativas, foi utilizado o método PROMETHEE-SAPEVO-M1 com suporte de um *software*. O apoio de uma ferramenta computacional é interessante em processos decisórios como esse por permitir uma análise multicritério estruturada e transparente em relação aos pesos e critérios e por trazer um aspecto visual que facilita o entendimento de decisores e *stakeholders*.

A modelagem desenvolvida mostrou-se satisfatória para a resolução do problema e, ao final do trabalho de pesquisa, foi possível identificar a ordem das transportadoras analisadas de acordo com seus desempenhos nos critérios e avaliações par-a-par imputadas no *software*. Os resultados incluem ainda a obtenção de pesos para os critérios por meio de comparações pareadas e uma escala de sete pontos disponibilizada para o usuário da ferramenta.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

Alam, A., Besselink, B., Turri, V., MåRtensson, J., e Johansson, K. H. (2015) Heavy-Duty Vehicle Platooning for Sustainable Freight Transportation: A Cooperative Method to Enhance Safety and Efficiency. *IEEE Control Systems*, *35*(6), 34–56. doi:10.1109/MCS.2015.2471046

Basílio, M. P., Pereira, V., Costa, H. G., Santos, M., e Ghosh, A. (2022) A Systematic Review of the Applications of Multi-Criteria Decision Aid Methods (1977–2022). *Electronics*, *11*(11), 1720. doi:10.3390/electronics11111720

Brans, J.-P., e De Smet, Y. (2016) PROMETHEE Methods. (p. 187–219). doi:10.1007/978-1-4939-3094-4_6

Brans, J. P., e Vincke PH. (1985) A Preference Ranking Organisation Method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making. *Management Sciences*, *31*(6), 647–656.

Chen, L., e Miller-Hooks, E. (2012) Resilience: An Indicator of Recovery Capability in Intermodal Freight Transport. *Transportation Science*, *46*(1), 109–123. doi:10.1287/trsc.1110.0376

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140

Gomes, C. F. S., Santos, M. dos, Teixeira, L. F. H. de S. de B., Sanseverino, A. M., e Barcelos, M. R. dos S. (2020) SAPEVO-M: A GROUP MULTICRITERIA ORDINAL RANKING METHOD. *Pesquisa Operacional*, *40*. doi:10.1590/0101-7438.2020.040.00226524

Hesse, M., e Rodrigue, J.-P. (2004) The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography*, *12*(3), 171–184. doi:10.1016/j.jtrangeo.2003.12.004

Keeney, R. L. (1994) *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making*. HARVARD UNIV PRESS, Cambridge.

Keeney, R. L. (1996) Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *European Journal of Operational Research*, *92*(3), 537–549. doi:10.1016/0377-2217(96)00004-5

Keeney, R. L. (2020) *Give Yourself a Nudge*. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108776707

Morais, D. C., Alencar, L. H., Costa, A. P. C. S., e Keeney, R. L. (2013) Using value-focused thinking in Brazil. *Pesquisa Operacional*, *33*(1), 73–88. doi:10.1590/S0101-74382013000100005

Moreira, M. Â. L., Gomes, C. F. S., dos Santos, M., do Carmo Silva, M., e Araujo, J. V. G. A. (2020) PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Modeling Proposal: Multicriteria Evaluation of Drones for Use in Naval Warfare. (p. 381–393). doi:10.1007/978-3-030-56920-4_31

Moreira, M. Â. L., Santos, M., Gomes, C. F. S., e Sanseverino, A. M. (2020) PROMETHEE-SAPEVO-M1: modelagem híbrida para avaliação multicritério mediante entradas ordinais. LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, SBPO, João Pessoa-PB.

Moreira, M. Â. L., Santos, M., e Gomes, C. F. S. (2023) PROMETHEE-SAPEVO-M1 Software. Rio de Janeiro. Obtido de http://www.promethee-sapevo.com/home.php

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

Sheffi, Y. (2004) Combinatorial Auctions in the Procurement of Transportation Services. *Interfaces*, *34*(4), 245–252. doi:10.1287/inte.1040.0075

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175140
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/175140