

INCONSISTÊNCIAS NA CLASSIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS EM MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Alexandre Bevilacqua Leoneti

Professor na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto –
FEARP, Universidade de São Paulo – USP, Av. Bandeirantes 3900, Ribeirão Preto 14040-900,
Brasil

RESUMO

A decisão multicritério se caracteriza como a situação de escolha de alternativas a partir de um conjunto finito de soluções possíveis atendendo diferentes critérios. É uma característica dos métodos multicritério de apoio à tomada de decisão a ponderação dos critérios selecionados, de acordo às preferências dos usuários. Todavia, esta ponderação é definida pelo próprio tomador de decisão e pode gerar inconsistências na classificação dos resultados, problema presente na maioria dos métodos multicriteriais existentes. Neste sentido, o objetivo da pesquisa foi verificar a hipótese de que a avaliação de alternativas por meio de diferentes métodos multicritérios pode gerar inconsistências na classificação final. Os principais problemas identificados na literatura, relacionados à variabilidade, subjetividade, operacionalidade e transitividade, tiveram constatação por meio de simulação utilizando um software incorporado a uma planilha de Excel. Neste sentido, esta pesquisa faz um alerta para a utilização de métodos multicritérios com relação às inconsistências na classificação final.

PALAVRAS CHAVE. Classificação, Multicritério, Inconsistência.

Área principal (Apoio à Decisão Multicritério; Simulação)

ABSTRACT

Multicriteria decision is characterized as a situation in which the decision maker must prioritize or select one or more alternatives from a finite set of possible solutions, taking into account different criteria. It is a characteristic of multicriteria methods weighting the selected criteria. However, this weighting is defined by the decision maker and can lead to inconsistencies in the classification of results, problem presented in most existing multicriteria methods. In this sense, the research objective was to verify the hypothesis that the evaluation of alternatives through different methods can lead to inconsistencies in the ranking. The main problems identified in the literature related to variability, subjectivity, operability and transitivity, had confirmation by simulation using a software embedded in an Excel spreadsheet. This research acts a warning for the use of multicriteria methods for decision making regarding inconsistencies in the final classification.

KEYWORDS. Classification, Multicriteria, Inconsistency.

Main area (Multicriteria Decision Support; Simulation)

1. Introdução

No “mundo real” os problemas geralmente são complexos e multi-dimensionais, além de envolverem diversos conflitos entre os agentes que participam da tomada de decisão. Assim, quando o tomador de decisão necessita considerar diversos critérios para avaliar um conjunto finito de alternativas que foram selecionadas para a resolução de um determinado problema, pode-se afirmar que ele se encontra em um processo de decisão multicritério.

A decisão multicritério é distinta da decisão com um único critério basicamente pelo fato de que, enquanto nesta última as alternativas são tratadas como restrições nas variáveis de decisão, na decisão multicritério as diversas alternativas devem ser analisadas com base em critérios que representam os diversos aspectos de um mesmo problema, sendo o conflito parte fundamental de sua natureza (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2006). Portanto, a decisão multicritério se caracteriza como a situação na qual o tomador de decisão deve priorizar ou selecionar uma ou mais alternativas a partir de um conjunto finito de soluções possíveis, em função do atendimento aos critérios selecionados, geralmente conflitantes. Assim, é uma característica fundamental dos métodos multicritério o tratamento dispensado para a ponderação dos critérios selecionados, visto que, em sua maioria, possuem diferentes prioridades de atendimento, dado às preferências dos tomadores de decisão.

O processo de modelagem dos problemas em métodos multicritério pode ser idealizado com o auxílio de uma matriz envolvendo as alternativas disponíveis e critérios selecionados. Esta matriz é conhecida como matriz de decisão e geralmente é normalizada e posteriormente ponderada, por meio de sua multiplicação por um vetor de pesos. Estes vetores de pesos contêm as preferências do tomador de decisão para o atendimento aos critérios que considera mais importante. A figura 1 apresenta a estrutura geral deste tipo de modelagem.

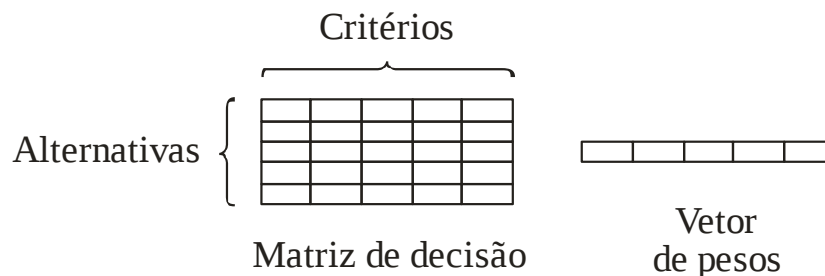


Figura 1 – Estrutura geral da modelagem tradicional de problemas multicritério

Fonte: autores

Utilizando a estrutura descrita, diversos métodos têm sido propostos para auxiliar no processo de tomada de decisão, sendo os mais conhecidos os métodos multicritérios *Elimination et Choice Traduisant la Réalité* – ELECTRE (ROY, 1968), *Analytical Hierarch Process* – AHP (SAATY, 1980), *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* – PROMETHEE (BRANS; VINCKE, 1985), *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* – TOPSIS (HWANG; YOON, 1981), *Multiattribute Utility Theory* – MAUT (KEENEY; RAIFFA, 1976) entre outros (FARAHANI et al., 2010; KIKER et al., 2005; ZANAKIS et al., 1998). Todavia, apesar de permitirem que sejam considerados na avaliação das alternativas todos os critérios e suas respectivas ponderações, esta ponderação é geralmente definida pelo tomador de decisão e pode, eventualmente, gerar inconsistências na classificação dos resultados. Este problema está presente na maioria dos métodos multicritério existentes (BUUDE; MAXWELL, 1995; ZANAKIS et al., 1998).

Neste sentido, o objetivo da presente pesquisa foi verificar a hipótese de que a avaliação de alternativas por meio de diferentes métodos multicritérios na abordagem multicritério depende da subjetividade do tomador de decisão e das metodologias aplicadas, o que pode gerar inconsistências na classificação de alternativas.

2. Método

Com o intuito de verificar a hipótese do problema, foi realizada uma pesquisa exploratória por meio de uma busca de publicações de artigos na base de dados do *SciencDirect* para encontrar experimentos que verificassem a problemática da classificação de alternativas em métodos multicritérios mais conhecidos. As palavras-chave utilizadas foram *method*, *multicriteria*, e *ranking*. Os problemas recorrentes identificados nesta primeira fase foram simulados na segunda parte da pesquisa de forma aplicada, com a utilização de um software em Excel para a aplicação de diferentes métodos multicritérios. O software escolhido foi o SANNA¹ - *MS Excel based system for multicriteria evaluation of alternatives* (Jablonský, 2009), que é um exemplo padrão de aplicativo MS Excel *add-in*. Depois de sua instalação, é adicionado uma barra de ferramentas com botões para utilizar o aplicativo na barra de menu do Excel (figura 2).

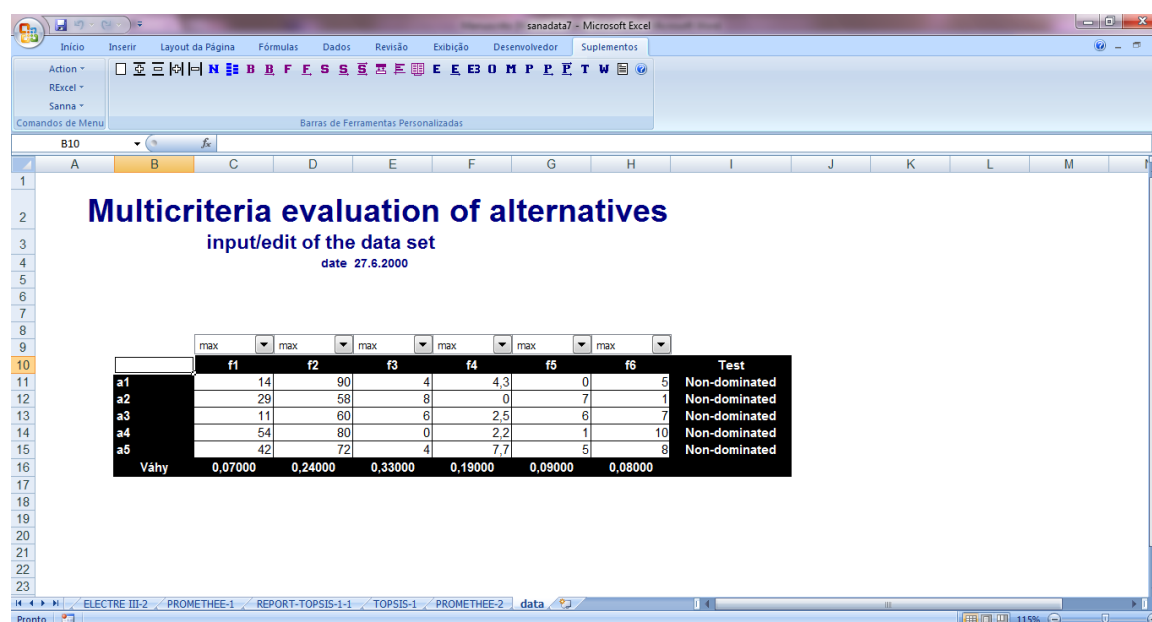


Figura 2 – Tela principal do SANNA e menu adicionado na barra de ferramentas

Fonte: Jablonský (2009)

A partir da matriz de decisão inicial, que é a matriz que acompanha o método para testes, foram comparadas as classificações de dois métodos e depois, alterando minimamente os pesos para os critérios, os resultados foram comparados entre si. Por fim, os resultados foram descritos e relacionados com os problemas de classificação identificados na literatura.

3. Referencial teórico

Dado a complexidade que envolve a resolução de problemas multicritérios, Baker et al. (2001) argumentam que melhores resultados podem ser alcançados quando todos os envolvidos em um processo decisório utilizam um método de tomada de decisão claramente definido e reconhecido para auxiliar nesta tarefa. Para os autores, a utilização destes métodos é importante, pois a maioria das decisões envolve múltiplos tomadores de decisão e objetivos, o que torna necessária sua utilização como apoio à tomada de decisão para apoiar os decisores em suas escolhas. O quadro 1 apresenta um resumo sobre os métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão mais conhecidos.

¹ O SANNA apresenta técnicas convencionais utilizadas mais frequentemente, entre elas TOPSIS, ELECTRE I e III e PROMETHEE e apresenta uma matriz de decisão e um vetor de pesos para testes

Nome	Autores	Fundamentos
Elimination et Choice Traduisant la Realité (ELECTRE)	Roy (1968)	Baseada nos índices de concordância e discordância entre as alternativas
Analytical Hierarchy Process (AHP)	Saaty (1980)	Converte avaliações subjetivas em conjunto de escores globais ou pesos
Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)	Brans e Vincke (1985)	Maximiza o valor da classificação das alternativas selecionadas, enquanto elas são viáveis aos tomadores de decisão
Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	Hwang e Yoon (1981)	Baseada em medidas de distância da uma solução ideal positiva e negativa
Multiattribute Utility Theory (MAUT)	Keeney e Raiffa (1976)	Considera as preferências do tomador de decisão na forma de função utilidade que é definida por um conjunto de atributos

Quadro 1 – Métodos multicritérios mais conhecidos

Fonte: ROY, B. Classement et choix en présence de points de vue multiples: La méthode ELECTRE. Revue Francaise d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, (1968); SAATY, T.L. The Analytic Hierarchy Process, New York, NY, USA: McGraw Hill, (1980); BRANS, J.P.; VINCKE, P.H. A preference ranking organization method, Management Science, (1985); HWANG, C.L.; YOON, K. Multiple attribute decision making: methods and applications. New York, NY, USA: Springer, (1981); KEENEY R, RAIFFA H Decision with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. Wiley, New York, (1976)

Todavia, no âmbito da resolução de problemas multicritério, problemas com relação à classificação das alternativas é um fator que deve ser levado em consideração pelo usuário que recorre à este tipo de abordagem. Esta problemática, que ocorre recorrentemente em diferentes métodos, acarreta em uma maior fragilidade quanto à consistência e robustez da classificação. Buede e Maxwell (1995) já tinham identificado problemas quanto à classificação final das alternativas analisadas dentro dos modelos multicritérios mais conhecidos. Segundo os autores, embora os métodos clássicos tenham sido desenvolvidos com base em uma série de diferentes teorias e algoritmos para ajudar os tomadores de decisão a identificar e selecionar a melhor alternativa, eles estão baseados na suposição de que os tomadores de decisão têm o desejo de sempre fazer escolhas racionais, que seria escolher a melhor alternativa disponível, considerando o conjunto de critérios de avaliação (BUEDE; MAXWELL, 1995).

Na pesquisa realizada, Buede e Maxwell (1995) escolheram os métodos MAUT, AHP, o TOPSIS e um algoritmo difuso para verificar se existiam diferenças no resultado em suas aplicações. Segundo os autores, os métodos selecionados possuem duas características comuns: exigem do tomador de decisão um conjunto de dados que contêm unidades de medida e pesos diferentes; e produzem classificação das alternativas com a indicação da melhor dentre elas (BUEDE; MAXWELL, 1995). Os autores levantaram a hipótese de que haveria um risco de erro na má aplicação desses algoritmos, tendo encontrado na literatura a menção de problemas na ordem de classificação de métodos como o AHP e o MAUT, os quais demonstraram divergências na ordenação das alternativas. Os autores realizaram uma série de experiências de simulação que permitiram comparar as melhores opções indicadas por cada um dos algoritmos. As experiências demonstraram que os métodos MAUT e AHP muitas vezes identificam a mesma alternativa como a melhor. No entanto, as outras técnicas são visivelmente menos consistentes, sendo o algoritmo difuso o pior de todos eles. As situações em que ocorreram as diferenças mais significativas nas respostas foram frequentemente associadas à problemas de classificação dos métodos (BUEDE; MAXWELL, 1995).

Em pesquisa similar, Zanakis et al. (1998) notaram outro problema relacionado à classificação de alternativas, constatando que diferentes técnicas produzem classificações diferentes quando aplicadas ao mesmo problema, aparentemente sob as mesmas premissas e por um único tomador de decisão. Segundo os autores, esta inconsistência nos resultados ocorre por

que: (i) as técnicas usam o cálculo dos pesos de forma diferente em seus cálculos; (ii) os algoritmos diferem em sua abordagem para selecionar a melhor solução; (iii) muitos algoritmos tentam medir os objetivos, o que afeta os pesos já escolhidos; (iv) alguns algoritmos introduzem parâmetros adicionais, que afetam a solução que será escolhida. Além disso, esta situação pode ser agravada pelas diferenças inerentes ao processamento de informações entre diferentes tomadores de decisão, mesmo sob preferências semelhantes (ZANAKIS et al., 1998).

Segundo Zanakakis et al. (1998), a grande variedade de técnicas disponíveis com complexidade e soluções variáveis confunde os potenciais usuários. Em princípio, vários desses métodos multicritério podem parecer adequados para um problema de decisão particular. Assim, segundo os autores, o tomador de decisão deve enfrentar primeiramente a tarefa de selecionar o método mais adequado dentre os vários possíveis. De acordo com Zanakakis et al. (1998), os usuários poderiam comparar estes métodos considerando diferentes dimensões, tais como simplicidade, confiabilidade, robustez e qualidade de cada um. No entanto, uma extensa revisão bibliográfica revelou aos autores que apenas um número limitado de obras foi dedicado para comparar a integração dos diferentes métodos. Além disso, os poucos trabalhos encontrados apresentaram as seguintes limitações e desvantagens: (i) o tamanho da amostra e a gama de problemas estudados são muito pequenos; (ii) os agentes dificilmente são tomadores de decisão reais; (iii) a forma como a informação é induzida influencia os resultados mais do que o modelo utilizado; e (iv) a existência de vieses do efeito de aprendizagem, especialmente quando um sujeito emprega vários métodos em sequência.

De qualquer forma, Zanakakis et al. (1998) concordam que é muito difícil responder a perguntas como: que método é mais apropriado para o tipo de problema? Quais são as vantagens e desvantagens de utilizar um método ao invés de outro? Será que há uma mudança de decisão quando diferentes métodos são utilizados? Se sim, por que e em qual medida? Portanto, com base em uma matriz de decisão de entrada de “n” pesos de critérios e avaliações das “m” alternativas, o problema de pesquisa consistiu na realização da comparação do desempenho entre alguns métodos multicritério para auxiliar na escolha por parte dos tomadores de decisão. Por meio de simulações, foram investigados os desempenhos de oito métodos: ELECTRE, TOPSIS, produto ponderado, soma ponderada e quatro versões do AHP (original, escala geométrica, autovetor à direita e transformação média). As soluções foram analisadas utilizando doze medidas de similaridade de desempenho. Semelhanças e diferenças no comportamento dos métodos foram investigadas. Os parâmetros de simulação foram os números de alternativas e critérios (ZANAKIS et al., 1998).

Como resultado, Zanakakis et al. (1998) identificaram que as diferenças derivadas dos diferentes pesos para os critérios tornam-se ainda mais fortes em problemas com poucas alternativas. No entanto, a classificação final das alternativas variou mais em problemas com muitas alternativas. Portanto, a distribuição dos pesos entre os critérios afeta menos as medidas de desempenho do que o número de alternativas ou o número de critérios. Contudo, ela afeta diferentemente nos métodos analisados. Em geral, todas as versões AHP se comportam de forma semelhante e mais perto da soma ponderada que os outros métodos. O ELECTRE é o menos semelhante à soma ponderada, seguido pelo produto ponderado. O TOPSIS comporta-se mais parecido com o AHP e mais diferente do ELECTRE e do produto ponderado, exceto para problemas com poucos critérios. O número de critérios teve pouco efeito sobre o AHP, o ELECTRE e o produto ponderado. A classificação do TOPSIS tornou-se mais diferente quando o número de pesos para os critérios aumentava (ZANAKIS et al., 1998). Com base nos resultados alcançados, Zanakakis et al. (1998) afirmam que esses métodos devem auxiliar o usuário a aprender mais sobre o problema e as soluções possíveis para se chegar à decisão final. Assim, esses métodos multicritério não podem ser considerados como uma ferramenta para descobrir uma verdade objetiva (ZANAKIS et al., 1998).

Porto e Azevedo (1997) também enriquecem os argumentos afirmando que indivíduos solucionam problemas a partir de informações, que permitem conhecer melhor uma determinada situação, e métodos, que permitem determinar quais são as variáveis de um determinado problema e como elas se interagem. Desta forma, os autores ressaltam que estes métodos não

deveriam substituir o tomador de decisão, mas sim apoiar um indivíduo ou grupo de indivíduos na execução desta tarefa (PORTO; AZEVEDO, 1997). Para Ensslin et al. (2001), métodos construídos com base no paradigma construtivista procuram reconhecer a importância da subjetividade dos decisores, pois consideram que os valores que os tomadores de decisão possuem são capazes de condicionar a formação dos seus objetivos, interesses e aspirações. Já os métodos construídos com base no paradigma racionalista consideram que os tomadores de decisão são racionais, ou seja, que possuem o mesmo nível e tipo de conhecimento e que raciocinam da mesma forma lógica. O quadro 2 apresenta as principais diferenças na modelagem baseadas nestes dois paradigmas.

	Construtivista	Racionalista
Usuário	Facilitador	Analista
Característica	Apoio à tomada de decisão	Tomada de decisão
Modelos	Visam ser ferramenta de comunicação	Visam representar a realidade
Resultados	Atendem objetivos e valores (recomendação)	Solução ótima (prescrição)
Objetivo	Geração de conhecimento (separar conclusões robustas das frágeis)	Encontrar solução ótima (aceitar ou rejeitar a solução)
Validade	Respaldo de uma comunidade científica	Tão mais válido quanto mais próximo da realidade

Quadro 2 – Principais diferenças entre o paradigma construtivista e racionalista

Fonte: adaptado de Ensslin et al. (2001)

Em relação à escolha dos métodos, Zopounidis e Doumpos (2002) citam quatro diferentes tipos de análises que podem ser realizadas a fim de proporcionar apoio aos tomadores de decisão: (i) escolher a melhor alternativa ou selecionar um conjunto limitado das melhores alternativas; (ii) ordenar as alternativas, da melhor para as piores; (iii) classificar as alternativas em grupos homogêneos; (iv) identificar as principais características distintivas das alternativas e executar sua descrição com base nestas características. De acordo com Zopounidis e Doumpos (2002), das três primeiras abordagens, escolher ou ordenar dependem do conjunto de alternativas consideradas, pois são baseadas em juízos relativos, enquanto a classificação requer uma comparação com perfis de referência. A ampla gama de aplicações no mundo real para a abordagem de classificação de um problema constitui na principal motivação dos pesquisadores no desenvolvimento de metodologias para a construção de modelos de classificação e ordenação.

Em seu trabalho, Zopounidis e Doumpos (2002), estudaram o desenvolvimento de modelos de classificação e ordenação e verificaram sua forte relação com a pesquisa operacional e técnicas de inteligência artificial. A pesquisa verificou os diferentes aspectos no desenvolvimento desses modelos e seus processos de validação e o uso dessas metodologias de classificação e ordenação para analisar problemas do mundo real para fornecer apoio à decisão. Com base nos resultados da pesquisa, Zopounidis e Doumpos (2002) argumentaram que os métodos multicriteriais não deveriam ser desenvolvidos apenas com base em procedimentos automáticos para a classificação ou ordenação de alternativas. Ao invés disto, esses métodos deveriam possibilitar uma modelagem de preferências, a qual permitisse incorporar as preferências dos tomadores de decisão no processo de classificação do modelo (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002). Zopounidis e Doumpos (2002) também identificaram que, no desenvolvimento de um modelo multicritério de classificação, a necessidade de especificar valores para os diversos parâmetros preferenciais, incluindo os pesos para os critérios de avaliação, tornam sua utilização muito difícil para tomadores de decisão não familiarizados com a metodologia multicritério (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002). Finalmente, os autores afirmam que, dentro do contexto multicritério, a forma como o modelo considera os critérios, por meio de técnicas de programação matemática para a determinação dos parâmetros do modelo ou pela forma indutiva, é diretamente relacionada com a sua eficiência nas recomendações de alternativas para a tomada de decisão (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002).

Assim, segundo Yeh (2002), apesar de vários métodos terem sido propostos, não há melhor método para o problema multicritério e a validade do resultado de classificação permanece uma questão em aberto (YEH, 2002). Em algumas situações específicas, as soluções produzidas por diferentes métodos multicritério coincidem. No entanto, em situações de decisão onde a classificação de todas as alternativas é necessária, diferentes métodos produzem diferentes resultados para o mesmo problema. Em outras palavras, para um mesmo vetor de pesos dado, a ordem da classificação varia em função do método utilizado, sendo que esta inconsistência aumenta quando o número de alternativas a classificadas aumenta (YEH, 2002). Portanto, segundo Yeh (2002), a seleção de um método válido para refletir os pesos dados pelos tomadores de decisão é importante, especialmente quando há uma série de métodos multicritério disponíveis e quando as alternativas envolvidas têm desempenho semelhante. Este problema da seleção do método multicritério a ser adotado para a resolução de um problema tem sido abordado em vários contextos de decisão. Desta forma, a grande variedade de métodos multicritério também tornou o problema da escolha de um método um problema multicritério (YEH, 2002).

Com base nesta constatação, Yeh (2002) realizou um estudo de caso para analisar a seleção de possíveis métodos multicritério para serem aplicados na solução de problemas multicriteriais. Para isto, foi proposta a utilização da análise de sensibilidade para determinar em que grau a classificação das alternativas fornecida pelos métodos avaliados poderia variar quando ocorressem alterações nos pesos dos critérios. Três métodos foram escolhidos para serem aplicados ao estudo do caso de uma faculdade que faz a seleção de alunos para serem contemplados com bolsa de estudo. Os métodos escolhidos foram: o método da soma ponderada, o método do produto ponderado e o TOPSIS. As principais diferenças entre os três métodos encontram-se no processo de normalização que antecede a comparação das avaliações de desempenho e também na agregação do vetor e da matriz normalizada para a obtenção de um valor de preferência global para cada alternativa (YEH, 2002). No estudo de caso desenvolvido por Yeh (2002) o método que foi identificado como o mais adequado foi o TOPSIS, que é o menos sensível dentre os três métodos e correspondeu melhor às informações embutidas na matriz de decisão. De acordo com o autor, a abordagem proposta é particularmente útil para problemas de grande escala onde os resultados da classificação produzidos por diferentes métodos diferem significativamente (YEH, 2002).

Em outra abordagem, Wang e Triantaphyllou (2008) afirmaram que diferentes métodos multicritério possuem o problema de fornecer diferentes respostas para exatamente o mesmo problema. Segundo Wang e Triantaphyllou (2008), alguns desses métodos utilizam fórmulas para calcular a soma das prioridades das alternativas, tais como o método da soma ponderada e o método AHP e suas variantes. Já outra família de modelos multicritérios tem base no que é conhecido como relações de classificação. Possui destaque neste grupo o método ELECTRE e seus derivados. Casos de irregularidades na classificação do AHP têm sido relatados por muitos pesquisadores. Por sua vez, os autores apontam pela primeira vez estas irregularidades também para o ELECTRE (WANG; TRIANTAPHYLLOU, 2008). De acordo com Wang e Triantaphyllou (2008), o método ELECTRE tem sido amplamente utilizado na engenharia civil e ambiental e suas aplicações incluem a avaliação de projetos complexos de engenharia civil, seleção de projetos de rodovias, a seleção de local para a eliminação de resíduos nucleares, planejamento de recursos hídricos e de resíduos de água ou de resíduos sólidos. As irregularidades na classificação das alternativas acontecem quando o método multicritério não satisfaz as seguintes exigências: (i) manter a indicação da melhor alternativa mesmo quando uma das alternativas é substituída por outra pior e os pesos determinados para os critérios continuam os mesmos; (ii) obedecer a propriedade da transitividade para a classificação final das alternativas; (iii) fornecer a mesma classificação que para o problema original quando o problema de decisão é decomposto em partes (WANG; TRIANTAPHYLLOU, 2008).

Wang e Triantaphyllou (2008) procuraram identificar por que as contradições acima ocorrem no método ELECTRE, principalmente para explicar porque, quando uma alternativa é substituída por outra pior, mesmo que seja razoável supor que algumas alternativas que originalmente tivessem classificação inferior possam tornar-se mais preferíveis a ela, a melhor

alternativa geralmente também é alterada. Com base nesta constatação, o foco de sua pesquisa foi alertar sobre a existência destas irregularidades para que as recomendações de classificação dos métodos ELECTRE sejam cautelosamente utilizadas, mesmo depois de uma eventual análise de sensibilidade ter sido realizada para verificar a sensibilidade da classificação final, com base em mudanças nos pesos dos critérios (WANG; TRIANTAPHYLLOU, 2008).

Para realizar esse estudo empírico que procurou identificar como essas irregularidades de classificação podem acontecer no âmbito dos métodos ELECTRE II e III, foram desenvolvidos programas de computador escritos em MATLAB® (linguagem de computação de alto nível para desenvolvimentos de algoritmos e visualização de dados), a fim de gerar problemas de decisão simulados e testar o desempenho do ELECTRE II e III no âmbito das três exigências enunciadas (WANG; TRIANTAPHYLLOU, 2008). Como resultado, constatou-se que a maioria das situações manteve a mesma alternativa ideal, mas a classificação das alternativas não-ideais, sob ambos os métodos, tiveram uma diferença significativa. Como o método AHP multiplicativo alcançou o melhor desempenho, os autores sugerem que um novo método poderia ser concebido, combinando as qualidades do método AHP multiplicativo com os métodos ELECTRE ou algum outro método multicritério, sem sofrer dessas irregularidades de classificação (WANG; TRIANTAPHYLLOU, 2008).

Finalmente, segundo Brunner e Starkl (2004), estes métodos de apoio devem ser compatíveis com alguns princípios para auxiliar de forma eficiente no processo de tomada de decisão, a saber: (i) anonimato, a ordem em que os decisores são considerados não deve afetar o resultado final da avaliação; (ii) neutralidade, a ordem na qual as alternativas são consideradas não deve afetar o resultado final da avaliação; (iii) integralidade, cada alternativa pode ser comparada com uma outra a partir de seus impactos; (iv) explicabilidade, a comparação deve ser baseada em uma relação global do impacto de cada projeto; (v) critério de Pareto, se A é melhor do que B então A é melhor do que B em pelo menos um critério e nunca pior em outros; e (vi) transitividade, se A é melhor do que B e B é melhor do que C, então A é melhor do que C.

O quadro 3 apresenta os principais problemas identificados com relação à classificação das alternativas por métodos multicritérios tradicionais.

Característica	Potenciais problemas de classificação	Descrito por...
(1) Variabilidade	Devido a grande variedade de técnicas disponíveis com complexidade e soluções diferentes a ordem da classificação varia em função do método utilizado	Zanakis et al. (1998); Yeh (2002)
(2) Subjetividade	As diferentes formas de distribuição e ponderação dos critérios em cada método podem afetar as medidas de desempenho	Zanakis et al. (1998); Zopounidis e Doumpos (2002)
(3) Operacionalidade	Os algoritmos diferem em sua abordagem para selecionar a melhor solução devido às diferentes técnicas de programação que, eventualmente, exigem informações adicionais dos tomadores de decisão	Zanakis et al. (1998); Zopounidis e Doumpos (2002)
(4) Transitividade	Alguns métodos apresentam problemas em manter a indicação da melhor alternativa mesmo quando uma das alternativas é substituída por outra pior e os pesos para os critérios continuam os mesmos	Wang e Triantaphyllou (2008); Brunner e Starkl (2004)

Quadro 3 – Principais problemas identificados com relação à classificação de alternativas

Fonte: adaptado de Zanakis et al. (1998); Zopounidis e Doumpos (2002); Yeh (2002); Wang e Triantaphyllou (2008)

4. Resultados e discussão

Dos métodos presentes no software SANNA, o TOPSIS e o ELECTRE III foram escolhidos para simular os problemas mais recorrentemente citados nos trabalhos encontrados, a saber: (1) variabilidade e (2) subjetividade. Estes dois métodos foram escolhidos, primeiramente, devido ao fato de serem amplamente conhecidos, mas também por conveniência, pois não exigem informações adicionais por parte dos tomadores de decisão, como, por exemplo, as informações de veto requeridas no método ELECTRE I.

O software SANNA apresenta uma matriz de decisão para a realização de testes utilizando os vários métodos disponíveis. Todavia, como forma de evitar valores coincidentes com os indicados no artigo original de Jablonský (2009), esta matriz de decisão foi modificada, tendo sido retirada sua sexta alternativa. A tabela 1 apresenta a matriz de decisão utilizada.

	<i>Critério 1</i>	<i>Critério 2</i>	<i>Critério 3</i>	<i>Critério 4</i>	<i>Critério 5</i>	<i>Critério 6</i>
Alternativa 1	14	90	4	4,3	0	5
Alternativa 2	29	58	8	0	7	1
Alternativa 3	11	60	6	2,5	6	7
Alternativa 4	54	80	0	2,2	1	10
Alternativa 5	42	72	4	7,7	5	8

Tabela 1 – Matriz de decisão para a simulação dos problemas de classificação

Fonte: adaptado de Jablonský (2009).

Por se tratar de um problema multicritério, o primeiro passo deve ser a ponderação destes critérios. Na matriz de decisão inicial todos os critérios são de maximização, ou seja, a alternativa será mais bem classificada conforme forem maiores os valores para os critérios. Para realizar a ponderação, foi adotado o vetor de pesos que consta originalmente no método SANNA, a saber: [0,07; 0,24; 0,33; 0,19; 0,09; 0,08], o que permite distribuir as importâncias dos critérios conforme as preferências, recebendo valores maiores os critérios com maior relevância.

Após a definição do vetor de pesos, o problema da (1) variabilidade foi simulado com a ajuda do software SANNA. Nesta simulação foi testada a hipótese de que a ordem da classificação varia em função do método utilizado. Assim, com a matriz de decisão e o vetor de pesos definidos, o software foi utilizado para classificar as alternativas com base nos dois métodos. A tabela 2 apresenta a classificação utilizando o método TOPSIS (esquerda) e a classificação do método ELECTRE III (direita).

<i>Classificação</i>	<i>Alternativas TOPSIS</i>	<i>Alternativas ELECTRE III</i>
1°	A5	A1
2°	A3	A5
3°	A2	A3
4°	A1	A4
5°	A4	A2

Tabela 2 – Verificação do problema de classificação quanto à (1) variabilidade

Fonte: utilizando Jablonský (2009)

Conforme observado na tabela 2, os dois métodos, utilizando a mesma matriz de decisão e o mesmo vetor de pesos, apresentaram classificações diferentes, além de indicar diferentes melhores alternativas. Enquanto a “Alternativa 1” foi apenas a quarta colocada pelo método TOPSIS, ela foi a primeira alternativa pelo método ELECTRE III. Esta variabilidade de

resultados é comum à vários métodos de tomada de decisão (ZANAKIS et al., 1998); YEH, 2002) e comprometem sobremaneira a consistência dos resultados.

Com o intuito de simular o problema associado à (2) subjetividade, o segundo escolhido para ser avaliado, o vetor de pesos inicial teve dois de seus valores minimamente alterados, da seguinte forma: o valor do primeiro critério foi acrescido de 0,03, enquanto o valor do último critério foi diminuído em 0,03. Por conseguinte, o vetor de pesos passou a ser [0,10; 0,24; 0,33; 0,19; 0,09; 0,05] e um novo teste foi realizado utilizando o método TOPSIS (tabela 3).

<i>Classificação</i>	<i>Alternativas TOPSIS (antes)</i>	<i>Alternativas TOPSIS (depois)</i>
1°	A5	A5
2°	A3	A2
3°	A2	A3
4°	A1	A1
5°	A4	A4

Tabela 3 – Verificação do problema de classificação quanto à (2) subjetividade

Fonte: utilizando Jablonský (2009)

Conforme os resultados apresentados na tabela 2, a classificação das alternativas foi modificada na segunda e na terceira colocação (as alternativas A2 e A3 foram alternadas). Apesar deste novo vetor de pesos não ter causado nenhuma alteração na classificação proposta utilizando o ELECTRE III, ressalta-se que uma pequena alteração em um dos valores do vetor de ponderação causou uma alteração na classificação das alternativas de um dos métodos, no caso o TOPSIS. Tendo em vista que a definição destes vetores de pesos é um processo que depende da transcrição objetiva da subjetividade envolvendo preferências, pequenas variações são comuns, mas foi evidenciado que podem afetar as medidas de desempenho das alternativas de forma a alterar sua classificação (ZANAKIS et al., 1998; ZOPOUNIDIS e DOUMPOS, 2002).

Para simular o problema da (3) operacionalidade, foram selecionados os métodos ELECTRE I e III. O método ELECTRE I foi escolhido, pois exige como etapa complementar a definição de valores de preferência e indiferença entre as alternativas. Esta exigência faz parte do algoritmo matemático utilizado pelo método, que necessita de uma função de indiferença para definir a classificação das alternativas. Para este caso, foram definidos os valores de 0,4 e 0,6 para preferência e indiferença, respectivamente. A tabela 4 apresenta os resultados para o método ELECTRE I (esquerda) e III (direita).

<i>Classificação</i>	<i>Alternativas ELECTRE I</i>	<i>Alternativas ELECTRE III</i>
1°	A4	A1
2°	A5	A5
3°	A1	A3
4°	-	A4
5°	-	A2

Tabela 4 – Verificação do problema de classificação quanto à (3) operacionalidade

Fonte: utilizando Jablonský (2009)

Conforme a tabela 4, os valores para o método ELECTRE foram diferentes para seus diferentes algoritmos matemáticos. É importante notar que, para a aplicação do ELECTRE I, as alternativas 2 e 3 não obtiveram relações de preferência significantes e, por isto, não foram incorporadas ao resultado. Todavia, devido à exigência de uma etapa complementar, as

classificações e ordens de preferências (ELECTRE I) foram alteradas de forma considerável, não se mantendo a indicação da melhor alternativa. Desta forma, foi possível verificar que os algoritmos podem diferenciar suas classificações devido às diferentes técnicas de programação que, eventualmente, exigem informações adicionais dos tomadores de decisão (ZANAKIS, et al. 1998; ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002). Ainda para este teste, o método PROMETHEE foi testado, pois também exige uma etapa complementar para a definição de valores de preferência e indiferença entre as alternativas. Para a utilização deste método foi necessário definir os valores de preferência (p) ou indiferença (q) para a função (Φ) apresentada na equação 1. A tabela 5 apresenta os resultados para o método ELECTRE I, III e PROMETHEE.

$$\Phi = \begin{cases} 0 & 0 \leq q \\ 0,5 & q \leq d \leq p \\ 1 & d \leq p \end{cases} \quad (1)$$

<i>Classificação</i>	<i>Alternativas ELECTRE I</i>	<i>Alternativas ELECTRE III</i>	<i>Alternativas PROMETHEE</i>
1º	A5	A1	A5
2º	A3	A5	A1
3º	A2	A3	A3
4º	A1	A4	A2
5º	A4	A2	A4

Tabela 5 – Verificação do problema de classificação quanto à (3) operacionalidade

Fonte: utilizando Jablonský (2009)

Finalmente, para simular o problema da (4) transitividade, foi escolhido o método TOPSIS devido ao fato de o mesmo considerar as distâncias entre as alternativas ideais (positiva e negativa) em seu algoritmo matemático. Esta estratégia visou evidenciar o problema da indicação da melhor alternativa quando uma alternativa (não indicada como melhor escolha) é incluída ou substituída. Desta forma, uma nova alternativa, semelhante a segunda melhor alternativa na primeira aplicação (Alternativa 3) foi incorporada, tendo sido o critério de maior peso aumentado em 50%. A tabela 6 apresenta a classificação utilizando o método TOPSIS.

<i>Classificação</i>	<i>Alternativas TOPSIS (antes)</i>	<i>Alternativas TOPSIS (depois)</i>
1º	A5	A6
2º	A3	A5
3º	A2	A2
4º	A1	A3
5º	A4	A1
6º	-	A4

Tabela 6 – Verificação do problema de classificação quanto à (4) transitividade

Fonte: utilizando Jablonský (2009)

Pode ser observado na tabela 6 que houve troca na classificação entre as alternativas 2 e 3, além do fato de que a indicação da melhor alternativa também foi modificada. Este resultado corrobora com a afirmação de que métodos podem apresentar problemas em manter a indicação da melhor alternativa mesmo quando uma das alternativas é incluída ou substituída, mas os pesos continuam os mesmos (WANG; TRIANTAPHYLLOU, 2008; BRUNNER e STARKL, 2004).

5. Considerações finais

O objetivo global da decisão multicritério é priorizar todas as alternativas de decisão no que diz respeito ao seu desempenho com base nos critérios. Desta forma, os critérios, também conhecidos como atributos, são selecionados para discriminar as alternativas e, por isto, devem medir o grau em que cada alternativa satisfaz os objetivos. Todavia, para serem utilizados em métodos de apoio a tomada de decisão multicritério, estes critérios devem ponderados com base nas preferências dos tomadores de decisão.

Foram encontradas na literatura diversas referências sobre problemas na classificação de alternativas em métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão. Estes problemas foram categorizados e cada um dos problemas foi simulado com o auxílio de um software implementado em uma planilha do Excel. Todos os problemas relacionados a variabilidade, subjetividade, operacionalidade e transitividade tiveram constatação nesta fase de simulação. Neste sentido, esta pesquisa faz um alerta para a utilização de métodos multicritérios para a tomada de decisão, considerando que a classificação das alternativas pode ser muito diferente dependendo do método utilizado ou do vetor de ponderação aplicado. Assim, especial cuidado deve dispensado no processo de escolha dos métodos, podendo, eventualmente, ser escolhido um método para a classificação inicial e um segundo para a sua comprovação.

A utilização de planilhas eletrônicas ou softwares que realizam os cálculos para diferentes métodos são relevantes para diminuir os impactos dos problemas de classificação, tendo sido apresentado um exemplo de software neste trabalho.

Agradecimentos: à FAPESP pela bolsa de doutorado.

Referências

- Baker, D., bridges, D., hunter, R., johnson, G., Krupa, J., Murphy, J. Sorenson, K. (2001)** Guidebook to Decision-Making Methods, Department of Energy, USA., Disponível em: <<http://ckmportal.eclacpos.org/caribbean-digital-library/industrial-development/xfer-949>>
- Brunner, N.; Starkl, M. (2004)** Decision aid systems for evaluating sustainability: a critical survey. *Environmental Impact Assessment Review* 24 441–469
- Buede, D.M.; Maxwell, D.T. (1995)** Rank Disagreement: A Comparison of Multi-criteria Methodologies. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 4, 1-21
- Ensslin, L.; Montibeller Neto, G.; Noronha, S.M. (2001)** Apoio à Decisão: Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas. **Editora Insular**
- Gomes, L.F.A.M.; Gomes, C.F.S.; Almeida, A.T. (2006)** Tomada de decisão gerencial: Enfoque multicritério. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 289 p.
- Jablonský, J. (2009)** MS Excel based system for multicriteria evaluation of alternatives. *University of Economics Prague, Department of Econometrics*, 2009 Disponível em: <<http://nb.vse.cz/~jablon/>>
- Porto, R. L. L.; Azevedo, L. G. T. (1997)** Sistemas de Suporte a Decisões aplicados a problemas de Recursos Hídricos. In: PORTO, R. L. L. (Org.). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: Editora Universidade / UFRGS / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. p. 43-95.
- Wang, X.; Triantaphyllou, E. (2008)** Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega* 36 (2008) 45 – 63
- Yeh, C.H. (2002)** A problem-based selection of multi-attribute decision-making methods. *Intl. Trans. in Op. Res.* 9 169-181
- Zanakis, S. H.; Solomon, A.; Wishart, N.; Dublish, S. (1998)** Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European Journal of Operational Research* 107 507-529
- Zopounidis, C.; Doumpos, M. (2002)** Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research* 138 229–246