

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2010

VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON

Tese apresentada ao Departamento de
Produção, Faculdade de Engenharia,
Campus de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para a obtenção do título de Livre-Docente
em Engenharia de Produção.

Guaratinguetá
2010

CONTEÚDO

Lista de figuras	4
Lista de siglas	5
Lista de símbolos	6
Lista de tabelas	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA	8
1.1.1. Metodologia da tomada de decisão com múltiplos critérios	8
1.1.2. Generalidades: matrizes e vetores	10
1.2. CONTRIBUIÇÕES, OBJETIVOS E METODOLOGIA DE PESQUISA	13
Bibliografia	15

Lista de figuras

Figura 1. Dados históricos de publicações científicas	10
Figura 2. Matriz de decisão com n alternativas e m critérios.....	10
Figura 3. Resultados obtidos com aplicações de três métodos de MCDM.....	13

Lista de siglas

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AMD	Apoio multicritério à decisão
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAUT	<i>Multiple Attribute Utility Theory</i>
MCDA	<i>Multiple criteria decision aid</i>
MCDA	<i>Multiple criteria decision analysis</i>
MCDM	<i>Multiple criteria decision making</i>
RR	<i>Ranking reversal</i>

Lista de símbolos

$\mathbf{D} = [d_{ij}]$	Matriz de decisão
$\mathbf{o} = [o_i]$	Vetor ordinal de decisão
$\mathbf{x} = [x_i]$	Vetor de decisão, ou vetor cardinal de decisão
$\mathbf{w} = [w_j]$	Vetor de pesos dos critérios

Lista de tabelas

Tabela 1. Exemplos de componentes de vetores cardinal e ordinal.....	11
Tabela 2. Resultados obtidos com aplicações de três métodos de MCDM	12

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA

1.1.1. Metodologia da tomada de decisão com múltiplos critérios

De acordo com a Etimologia, Decisão é a Ação de decidir (PRIBERAM INFORMÁTICA S.A., 2009). Num entendimento prático, quando um problema possuir apenas uma solução, então, uma Ação é necessária. Quando houver mais de uma solução alternativa então, antes da Ação, será necessário tomar-se uma Decisão: ou seja, por exemplo, escolher uma alternativa.

A tomada de decisão com múltiplos critérios (MCDM, do inglês, *multiple criteria decision making*) é o estudo da inclusão de critérios conflitantes na tomada de decisão (INTERNATIONAL SOCIETY ON MCDM, 2009). É uma disciplina que produz uma grande quantidade de artigos e livros, desde a década de 1960 (ROY, 2005).

Existem dois tipos de problemas de MCDM: os problemas discretos e os problemas de otimização. Os problemas discretos ocorrem quando há um número pequeno de soluções alternativas factíveis. Nos problemas de otimização, há um número elevado de alternativas, geralmente, identificadas por meio de equações (DOUMPOS e ZOPOUNIDIS, 2002).

Os problemas discretos são objetos de estudo desta tese. Roy (1996) distinguiu quatro tipos de problemas discretos, aos quais deu o nome de “problemáticas de referência”: escolha, classificação, ordenação e descrição (MIRANDA e ALMEIDA, 2003). O Problema de Escolha é identificar um subconjunto, o menor possível, com as soluções alternativas mais satisfatórias para o problema. O Problema de Classificação é distribuir as soluções alternativas em categorias predefinidas. O Problema de Ordenação é estabelecer uma ordem de preferência do conjunto de alternativas A. Por fim, no Problema de Descrição descrevem-se as soluções alternativas, formalmente, com suas consequências em termos de qualidade e quantidade, ou propõe-se um procedimento o qual pode ser usado, repetidamente.

Dentre os vários métodos de MCDM, para solução de problemas discretos, podem ser citados, entre outros:

- *Analytic Hierarchy Process* (AHP).
- *Elimination et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE).
- *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH).
- *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT).

Devido à grande variedade de métodos, algumas classificações foram propostas e adotadas para o estudo da MCDM. Acadêmicos europeus, como o francês Prof. Bernard Roy e o belga Prof. Philippe Vincke, propuseram uma divisão do conjunto de métodos de MCDM em duas escolas de abordagens (ROY e VANDERPOOTEN, 1996; VINCKE, 1992):

- Escola Europeia, com métodos de subordinação e síntese.
- Escola Norte-americana, com métodos baseados na função de utilidade.

Os métodos da Escola Norte-americana, como AHP e MAUT, são, usualmente, referenciados como métodos de MCDM (BELTON, 1986; VAIDYA e KUMAR, 2006). Já os da Escola Europeia, por exemplo, os da família ELECTRE, também são denominados de métodos de auxílio à decisão com múltiplos critérios (MCDA, *multiple criteria decision aid*) (BRASIL F. et al., 2009). A sigla MCDA também é utilizada para a análise da decisão com múltiplos critérios (em inglês, *multiple criteria decision analysis*), como em Figueira et al. (2005). No Brasil, alguns autores, como GOMES et al. (2009), preferem o uso da expressão apoio multicritério à decisão (AMD), embora esta última contenha um neologismo. Portanto, AMD, MCDA e MCDM podem ser entendidos como sinônimos.

A classificação por nacionalidade é controversa com relação ao método MACBETH, proposto por europeus, mas, conceitualmente, inserido na Escola Norte-americana. Olson (1996) manifesta-se contrário a esta classificação por entender que ela dificulta a classificação de contribuições por equipes internacionais. Mas, a principal inconveniência gerada pela classificação foi o surgimento de uma rivalidade entre as escolas. Isto de fato ocorreu na década de 2000, em nosso país.

Os métodos da Escola Europeia foram considerados superiores, por permitirem o novo Paradigma Construtivista (ENSSLIN et al., 2001). No Paradigma Racionalista dos métodos da Escola Norte-americana, busca-se “a solução ótima do problema decisório”; no Paradigma Construtivista busca-se “gerar conhecimento”. Embora a discussão pareça interessante, ela não obteve repercussão nos meios acadêmico e empresarial. Conforme apresentado na Figura 1, recente pesquisa bibliográfica no banco de dados do *Institute for Scientific Information* apontou que, desde a década de 1980, os métodos AHP e MAUT possuem bem mais artigos publicados do que todos os métodos da Escola Europeia (WALLENIS et al., 2008).

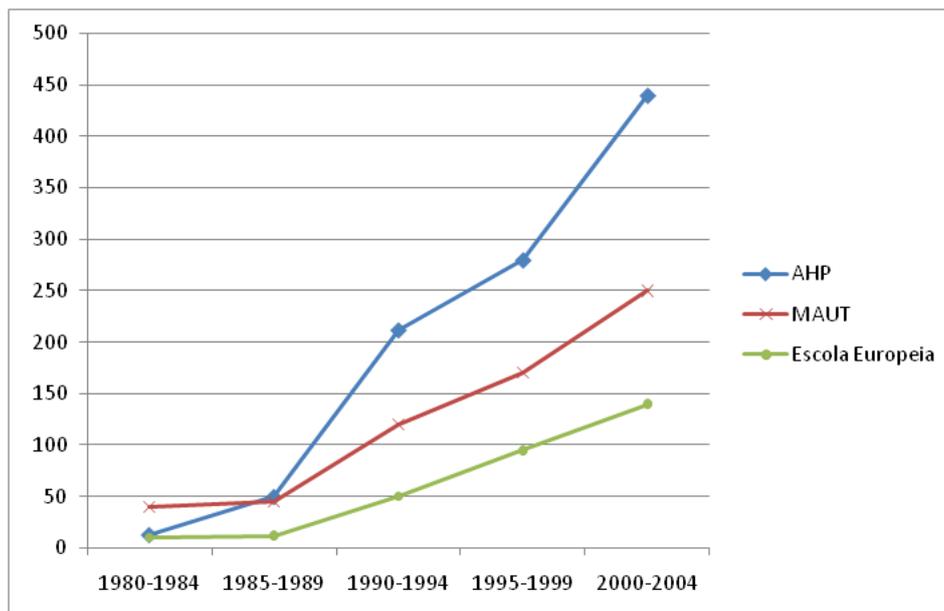


Figura 1. Dados históricos de publicações científicas
(Adaptada de WALLENUS et al., 2008).

1.1.2. Generalidades: matrizes e vetores

Os métodos de MCDM trabalham com a mesma ferramenta principal: a matriz de decisão, \mathbf{D} . Conforme apresentado na Figura 2, os componentes de \mathbf{D} indicam o *desempenho*, *possibilidade* ou *preferência* da Alternativa i com relação ao Critério j .

	Critério 1	Critério 2	...	Critério m
Alternativa 1	d_{11}	d_{12}	...	d_{1m}
Alternativa 2	d_{21}	d_{22}	...	d_{2m}
...
Alternativa n	d_{n1}	d_{n2}	...	d_{nm}

Figura 2. Matriz de decisão com n alternativas e m critérios

O que distingue um método de MCDM dos demais é a maneira com que os componentes da matriz de decisão são obtidos e processados. A aplicação do método ELECTRE I, em um exemplo genérico com quatro alternativas, poderá gerar a ordenação apresentada na Equação 1. Se for um Problema de Escolha, a Alternativa 3 é a solução do problema. Caso esta alternativa não esteja mais disponível, então as Alternativas 2 ou 4 podem ser escolhidas, pois, estão empatadas. Neste exemplo genérico, a pior solução seria a escolha da Alternativa 1.

$$\text{Alternativa 1} < \text{Alternativas 2 e 4} < \text{Alternativa 3} \quad (1)$$

Com a aplicação do método ELECTRE I, o quanto uma alternativa supera outra não é quantificado. Nas aplicações dos métodos da Escola Norte-americana, e alguns métodos da Escola Europeia, esta quantificação é possível. Isto porque a matriz de decisão gera um vetor de decisão, \mathbf{x} . Os componentes do vetor de decisão são o *desempenho global*, *possibilidade global* ou *preferência global* das Alternativas i . Para esta síntese, um vetor de pesos dos critérios, \mathbf{w} , pode ser necessário. O vetor de decisão pode ser obtido conforme a Equação 2, ou seja, com a multiplicação entre a matriz de decisão, uma matriz $n \times m$, e o vetor de pesos dos critérios, na verdade, uma matriz $m \times 1$.

$$\mathbf{x} = \mathbf{D} \mathbf{w} \quad (2)$$

A solução de um Problema de Escolha, então, será a alternativa com o maior valor de x_i . Se for um Problema de Ordenação, a solução do problema se dará com a obtenção do vetor ordinal de decisão, \mathbf{o} , conforme a Equação 3, onde a função “ordem” associa um número inteiro de 1 a n , baseando-se na ordem decrescente dos componentes do vetor cardinal de decisão, \mathbf{x} .

$$o_i = \underset{i=1}{\overset{n}{\text{ordem}}}(x_i) \quad (3)$$

A Tabela 1 apresenta exemplos de vetores, cardinais e ordinais, de decisão. A solução do Problema de Escolha seria a escolha da Alternativa 3, para a qual se observa $x_3 = 9$ e $o_3 = 1$.

Tabela 1. Exemplos de componentes de vetores cardinal e ordinal

i	x_i	o_i
1	0,6	4
2	0,8	2
3	0,9	1
4	0,8	2

Em aplicações do método AHP, a matriz de decisão é, geralmente, estocástica quanto às colunas, ou seja, os componentes de suas colunas são normalizados, conforme a Equação 4. O vetor de pesos dos critérios e o vetor de decisão também são normalizados, conforme as Equações 5 e 6.

$$\sum_{i=1}^n d_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (6)$$

Em aplicações de MACBETH ou MAUT, a matriz de decisão não é uma matriz estocástica. Os componentes das colunas desta matriz são idealizados, conforme a Equação 7. Como o vetor dos pesos dos critérios é, geralmente, normalizado, o vetor de decisão resultante da aplicação destes métodos será um vetor idealizado.

$$\max_{i=1}^n (d_{ij}) \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

Em Ferreira et al. (2006) os métodos AHP, MAUT e MACBETH foram aplicados ao mesmo problema de decisão: terceirizar ou não um serviço interno em uma fábrica. Critérios como Custo, Prazo e Qualidade do serviço foram considerados. A Tabela 2 apresenta os vetores de decisão obtidos com estas aplicações baseadas nos mesmos dados iniciais.

Tabela 2. Resultados obtidos com aplicações de três métodos de MCDM
(Fonte: Ferreira et al., 2006)

	AHP	MACBETH	MAUT
Contratar pessoal	0,15	0,24	0,22
Manter o efetivo	0,37	0,64	0,61
Terceirizar	0,48	0,71	0,72

Observa-se na Tabela 2, que as aplicações de diferentes métodos de MCDM geraram vetores de decisão diferentes entre si. Mas, o vetor ordinal de decisão obtido com cada aplicação é o mesmo: [1 2 3]. Ou seja, com as aplicações a solução do Problema de Escolha ou de Ordenação seria a mesma. No caso, a solução indicada pelas aplicações do método foi a que de fato a empresa decidiu: Terceirizar.

A coincidência relatada anteriormente era esperada, uma vez que os mesmos dados iniciais foram utilizados. Mas, nem sempre ocorrerá. Em Salomon e Shimizu

(2006), os métodos AHP, ELECTRE I e MACBETH foram aplicados em um problema de seleção de fornecedores. Os mesmos dados iniciais foram utilizados. Os resultados das aplicações estão apresentados na Figura 3.

Método	Resultado
AHP	Selecionar o Fornecedor B. Se a importância do Critério Preço for maior que 80%, então selecionar o Fornecedor C.
ELECTRE I	Selecionar os Fornecedores B ou C. Evitar selecionar o Fornecedor A.
MACBETH	Selecionar o Fornecedor B. Se a importância do Critério Preço for maior que 40%, então selecionar o Fornecedor A.

Figura 3. Resultados obtidos com aplicações de três métodos de MCDM

(Fonte: Salomon e Shimizu, 2006)

Embora todas as aplicações resultem na seleção do Fornecedor B, há certa divergência entre elas. Do exposto na Figura 3, surgem duas questões:

1. Os resultados podem ser considerados compatíveis ou não?
2. Se os resultados forem incompatíveis, qual deles é o correto?

Ao se tentar responder a estas questões, temas recentes da MCDM podem ser abordados. Entre estes temas, incluem-se a Validação da Decisão (WHITAKER, 2007) e a Compatibilidade entre Vetores de Decisão (GARUTI, 2007), objetos de estudo desta tese.

Validação e Compatibilidade são temas de pesquisas recentes, mas, questões como as enunciadas, anteriormente, não são novidade. Um exemplo é a questão de inversão de ordem (RR, *ranking reversal*). RR ocorre quando há inversão de ordem ou prioridades das alternativas, quando, por exemplo, se inclui ou exclui uma alternativa. Esta questão e outros temas específicos da qualidade ou validade dos resultados da aplicação de um método de MCDM estão apresentados em detalhes no Capítulo 2.

1.2. CONTRIBUIÇÕES, OBJETIVOS E METODOLOGIA DE PESQUISA

Ainda existem no país pesquisadores que alimentam a rivalidade entre as Escolas Europeia e Norte-americana de métodos de MCDM. Infelizmente, estes pesquisadores ocupam posição de importância, sendo revisores de artigos em congressos e periódicos

e até assessorando órgãos de fomento a pesquisa. Estas pessoas tem plena convicção da superioridade da Escola Europeia. Mais do que isto, consideram o método de MCDM mais utilizado no mundo, o AHP, como um método falho.

A principal crítica apresentada contra o método AHP é a questão de RR. Porém, Wang e Triantaphyllou (2008) e (HORA, et al., 2009) apresentaram exemplos da ocorrência de RR em aplicações de métodos da família ELECTRE. Além disso, conforme detalhado no Capítulo 2, há situações em que RR é legítima. Ou seja, há casos de decisões reais em que a RR ocorre. Assim, se estes métodos permitem a RR, eles são mais adequados ou realistas do que outros métodos que buscam robustez a RR.

Uma das pretensões desta tese é contribuir para o fim de preconceitos na MCDM. Assim, esta tese contribuirá para que usuários brasileiros do AHP possam continuar a aplicar este método, sistematicamente, em suas tomadas de decisões, assim como no resto do mundo.

O objetivo geral desta tese é contribuir para a análise de aplicações de métodos de MCDM. Entre os objetivos específicos destacam-se:

- Incluir, no estudo, temas recentes ou pouco abordados como Compatibilidade e Validação de aplicações de métodos de MCDM em problemas discretos.
- Identificar situações ou fragilidades em aplicações de métodos de MCDM, de modo a evitar aplicações inválidas por usuários inexperientes.
- Propor um procedimento para que uma aplicação possa ser considerada válida ou não.

Espera-se atender aos objetivos e pretensões da tese seguindo-se uma abordagem de pesquisa quantitativa: a Modelagem Matemática (MM). Entende-se abordagem de pesquisa

A MM é muitas vezes classificada com um método de pesquisa de abordagem puramente quantitativa. Neste sentido, o número de objetos pesquisados pode ser tão grande que estes nem existam ainda, como no caso de uma Simulação. Bertrand e Fransoo (2002).

Bibliografia

- BELTON, V. 1986.** A comparison of the Analytic Hierarchy Process and a simple multi-attribute value function. *European Journal of Operational Research*. 1, 1986, Vol. 26, pp. 7-21.
- BRASIL F., A. T., et al. 2009.** Comparison of two MCDA classification methods over the diagnosis of Alzheimer's disease. [A. do livro] P. WEN, et al. *Rough Sets and Knowledge Technology*. Berli : Springer, 2009, pp. 334-341.
- DOUMPOS, M. e ZOPOUNIDIS, C. 2002.** *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*. Dordrecht : Kluwer, 2002.
- ENSSLIN, L., MONTIBELLER N., G. e NORONHA, S.M. 2001.** *Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Florianópolis : Insular, 2001.
- FERREIRA F., A.J.C.A., et al. 2006.** Aplicação de métodos diferentes de tomada de decisão com múltiplos critérios na terceirização de serviços de publicações técnicas de peças na indústria aeronáutica. *Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. [1 CD]. Gioânia : Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2006. 38.
- FIGUEIRA, J., GRECO, S. e EHRGOTT, M. 2005.** *Multiple Criteria Decision Analysis*. N. York : Springer, 2005.
- GARUTI, C. 2007.** Measury compatibility (closeness) in weighted environments. *International Symposium on AHP*. [1 CD]. Viña Del Mar : Fulcrum Ing., 2007. 9. Proceedings.
- GOMES, L.F.A.M., GOMES, C.F.S. e ALMEIDA, A.T. 2009.** *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. S. Paulo : Atlas, 2009.
- INTERNATIONAL SOCIETY ON MCDM. 2009.** Mission of the Society. [Online] 12 de 11 de 2009. [Citado em: 26 de 12 de 2009.] <http://www.mcdmsociety.org/intro.html>.
- MIRANDA, C.M.G. e ALMEIDA, A.T. 2003.** Avaliação de pós-graduação com método ELECTRE TRI: o caso de Engenharias III da CAPES. *Produção*. 3, 2003, Vol. 13, pp. 101-112.
- OLSON, D. 1996.** *Decision Aids for Selection Problems*. s.l. : Springer-Verlag, 1996.
- PRIBERAM INFORMÁTICA S.A. 2009.** Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. [Online] 2009. [Citado em: 28 de 12 de 2009.] <http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx>.
- ROY, B. e VANDERPOOTEN, D. 1996.** The European school of MCDA: emergence, basic features and current works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 1, 1996, Vol. 5, pp. 22-38.
- ROY, B. 1996.** *Multicriteria methodology for decision aiding*. Dordrecht : Kluwer, 1996.
- . **2005.** Paradigms and challenges. [A. do livro] J. FIGUEIRA, S. GRECO e M. EHRGOTT. *Multiple Criteria Decision Analysis*. N. York : Springer, 2005.
- SALOMON, V.A.P. e SHIMIZU, T. 2006.** Performance of three different methods of multiple criteria decision making applied to the supplier selection. *International*

Conference on MCDM. Chania : Technical University of Crete, 2006. 16. Book of abstracts.

VAIDYA, S. O. e KUMAR, S. 2006. Analytic Hierarchy Process: an overview of applications. *European Journal of Operational Research*. 1, 2006, Vol. 169, pp. 1-29.

VINCKE, P. 1992. *Multicriteria Decision-aid*. N. York : Wiley, 1992.

WALLENIS, J., et al. 2008. Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: recent accomplishments and what lies ahead. *Management Science*. 7, 2008, Vol. 54, pp. 1336-1349.

WHITAKER, R. 2007. Validation examples of the Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process. *Mathematical and Computer Modelling*. 2007, Vol. 46, pp. 840-859.