

Aplicação da Metodologia de MCDA à Escolha de Taqueômetros Eletrônicos

Mari Elizabete B. Seiffert ¹

Oneida Barros Bezerra ²

Andrea F. T. Carneiro ³

UFSC - Doutorado em Engenharia de Produção

¹ ✉ mari@eps.ufsc.br, fone: (048) 334.1410

² ✉ barros@eps.ufsc.br, fone: (048) 234.8237

³ ✉ carneiro@eps.ufsc.br, fone: (048) 334-1928

Conteúdo	<p>1. Introdução</p> <p>2. Aplicação do MCDA a escolha de estações totais</p> <p>2.1 Identificação dos pontos de vista fundamentais (PVFs) e elementares (PVEs)</p> <p>2.2 Construção dos descritores</p> <p>2.3 Identificação dos níveis de impacto BOM e NEUTRO de cada PVF</p> <p>2.4 Construção das matrizes semânticas de juízos de valor de cada PVF</p> <p>2.5 Determinação da escala cardinal de juízo de valor</p> <p>2.6 Determinação da escala cardinal de juízo de valor entre PVF's</p> <p>2.7 Identificação e caracterização das ações possíveis</p> <p>2.8 Determinação do impacto dos juízos de valor sobre cada ação</p> <p>2.9 Construção dos perfis de impacto das ações</p> <p>2.10 Análise de sensibilidade</p> <p>3. Conclusão</p> <p>4. Referências Bibliográficas</p>
-----------------	---

Resumo: Este artigo apresenta os resultados obtidos na aplicação da abordagem MCDA (Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão) à escolha de taqueômetros eletrônicos. Para a análise foram utilizados seis modelos hipotéticos, cujas características baseiam-se em especificações de modelos disponíveis no mercado. A análise foi estruturada a partir das características técnicas dos equipamentos: unidade de medição angular, precisão da medição angular, alcance da medição linear, precisão da medição linear, registro interno de dados, e ainda: custo máximo admissível e forma de pagamento, garantia oferecida, condições de assistência técnica. Os resultados obtidos comprovam a aplicabilidade e eficiência da metodologia MCDA à escolha de taqueômetros, podendo-se aplicar a outros instrumentos técnicos, especialmente quando os equipamentos avaliados possuem características bastante similares.

Palavras chaves: taqueômetros, MCDA

Abstract: This paper presents the results of the application of MCDA methodology (Multiple Criteria Decision Aid) for the choice of total stations. Six models of equipments were used for the analysis, which characteristics are based on specifications of existent models. The analysis was structured for the technical characteristics of the equipments: angular measure unit, angular measure precision, range of the linear measure, linear measure precision, internal register of data, maximum cost admitted, guarantee, conditions of technical assistance. The results obtained verified the applicability and efficiency of MCDA methodology in choice of taqueometers that may be applied to others technical instruments specially when the evaluated equipments have similar characteristics.

Keywords: total station, MCDA

1. Introdução

A escolha de equipamentos topográficos não é uma tarefa simples para um decisor. Quando necessita adquirir um equipamento, este é apresentado a uma gama de opções que torna difícil uma escolha, especialmente devido à variedade de equipamentos e à diversidade de características técnicas dos equipamentos disponíveis no mercado.

A crescente utilização dos taqueômetros ou estações totais e sua importância na modernização das técnicas de levantamento justificam a preocupação com a escolha adequada do equipamento a ser utilizado, principalmente em aplicações cadastrais, onde as exigências de precisão são mais evidentes. O cruzamento entre informações de precisão e a forma de registro de dados, por exemplo, confunde o interessado na aquisição do equipamento, que tem que considerar ainda o fator custo.

A aplicação de uma técnica de apoio à decisão que proporcione transparência e isenção, com elementos que provem, sem sombra de dúvidas, a lisura do decisor é, portanto, de grande importância e utilidade, principalmente quando trata-se da elaboração de um edital de licitação. Para o usuário comum (o técnico ou engenheiro que investe neste equipamento de trabalho) também é interessante a aplicação de uma técnica que garanta a observância dos seus juízos de valor, ou seja, dos elementos que ele considera importantes na escolha, ao tomar uma decisão.

O MCDA (Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão) objetiva, acima de tudo proporcionar um maior grau de conformidade e coerência entre a evolução de um processo decisório e os sistemas de valor e objetivos daqueles envolvidos neste processo. Para

este propósito, conceitos, ferramentas e procedimentos devem ser concebidos para ajudar nos a fazer nossa escolha em presença de ambigüidade e incerteza. O processo tem demonstrado resultados bastante superiores às abordagens monocritério, que baseiam sua lógica na racionalidade econômica, ignorando os interesses particulares dos envolvidos no processo decisório. Em uma abordagem multicritério, o analista busca construir critérios usando vários pontos de vista. Estes pontos de vista representam os diferentes *axiomas do método* ao longo dos quais os vários atores do processo de decisão justificam, transformam e argumentam suas preferências (BANA e COSTA, 1994). O princípio fundamental da metodologia de multicritério é precisamente a consideração de que, na maioria das situações de decisão, a escolha ótima não existe, sendo assim recusa-se o postulado da otimização, admite-se somente àquelas soluções mais adaptadas a uma certa realidade (BANA e COSTA, 1990^a).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma aplicação da técnica MCDA à escolha de taqueômetros , visando principalmente sua aplicação à seleção destes equipamentos em editais de licitação, oferecendo confiabilidade ao sistema de escolha, diminuindo a margem de dúvidas ou contestações.

2. Aplicação do MCDA a escolha de estações totais

A metodologia MCDA pode ser aplicada à escolha de qualquer tipo de equipamento, além de quaisquer outras aplicações que envolvam decisão. A justificativa para a escolha dos taqueômetros para esta demonstração da metodologia deve-se à maior complexidade das variáveis envolvidas.

O método foi aplicado sobre seis modelos hipotéticos, com características técnicas similares a alguns equipamentos disponíveis no mercado.

- Ação 1 (TAQUE 1)
- Ação 2 (TAQUE 2)
- Ação 3 (TAQUE 3)
- Ação 4 (TAQUE 4)
- Ação 5 (TAQUE 5)
- Ação 6 (TAQUE 6)

2.1 Identificação dos pontos de vista fundamentais (PVFs) e elementares (PVEs)

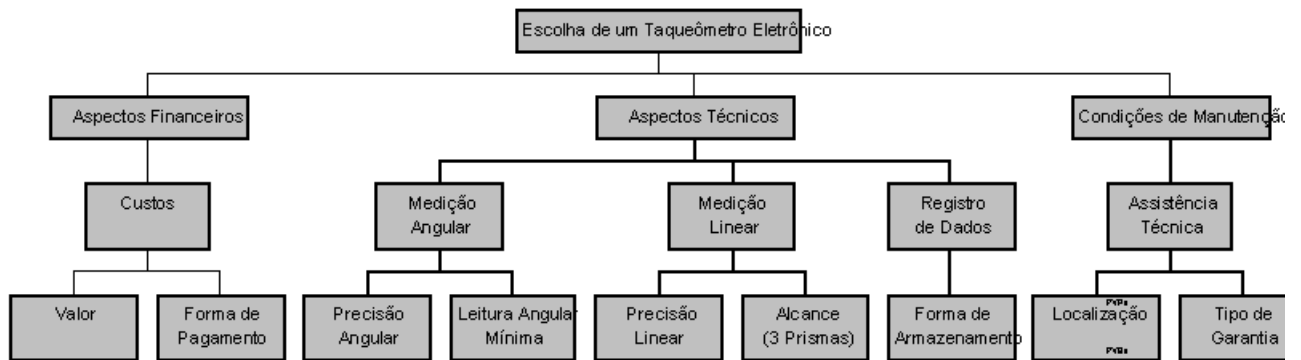


Fig. 1: Construção da arborescência dos PVFs e PVEs

2.2 Construção dos descritores

- Identificação dos estados possíveis:

PVF1 - Custos

Valor do Equipamento	acima de 15 mil dólares entre 10 e 15 mil dólares até 10 mil dólares	Forma de pagamento	à vista 50% de entrada e 50% em 30 dias 100% em 30 dias
----------------------	--	--------------------	---

PVF2 – Medição Angular

Precisão Angular	maior que 5"	Leitura Angular Mínima	5"
	menor que 5"		1"

I

PVF3 – Medição Linear

Precisão Linear	maior que 5mm	Alcance com 3 prismas	maior que 2.500m
	igual a 5mm		entre 2.000 e 2.500m
	menor que 5mm		menor que 2.000m

PVF4 – Registro de Dados

Forma de Armazenamento dos Dados	cartão
	registro interno
	registro externo (caderneta eletrônica)

PVF5 – Assistência Técnica

Localização	no país	Garantia	menos de 2 anos
	no exterior		no mínimo 2 anos

• Combinação e hierarquização dos estados possíveis:

A seguir são apresentadas as combinações possíveis dos estados, já hierarquizadas de acordo com as preferências do decisor. Observe que no PVF2 foi omitida uma possibilidade (precisão maior que 5" e leitura mínima de 5"). A omissão foi proposital, supondo-se que não existe no mercado nenhum equipamento com esta característica. Os níveis que apresentam mais de uma opção, indicam que não existe diferença de preferência do decisor com relação a estas opções.

Custos (PVF1)

N8 - Valor do equipamento até 10 mil dólares e pagamento com 30 dias

N7 - Valor entre 10 e 15 mil dólares e pagamento com 30 dias

N6 - Valor até 10 mil dólares e 50% de entrada + 50% em 30 dias ou

Valor entre 10 e 15 mil dólares e 50% de entrada + 50% em 30 dias

N5 - Valor até 10 mil dólares e pagamento à vista

N4 - Valor entre 10 e 15 mil dólares e pagamento à vista

N3 - Valor maior que 15 mil dólares e pagamento com 30 dias

N2 - Valor maior que 15 mil dólares e 50% de entrada + 50% em 30 dias

N1 - Valor maior que 15 mil dólares e pagamento à vista

Medição Angular (PVF2)

N5 - Precisão maior que 5" e leitura angular mínima de 1"

N4 - Precisão igual a 5" e leitura angular mínima de 1"

N3 - Precisão igual a 5" e leitura angular mínima de 5"

N2 - Precisão menor que 5" e leitura angular mínima de 1"

N1 - Precisão menor que 5" e leitura angular mínima de 5"

Medição Linear (PVF3)

N6 - Precisão maior que 5mm e alcance com 3 prismas maior que 2.500m

N5 - Precisão maior que 5mm e alcance entre 2.000 e 2.500m ou

Precisão igual a 5mm e alcance maior que 2.500m

N4 - Precisão igual a 5mm e alcance entre 2.000 e 2.500m

N3 - Precisão menor que 5mm e alcance maior que 2.500m

N2 - Precisão maior que 5mm e alcance menor que 2.000m ou

Precisão igual a 5mm e alcance menor que 2.000m

N1 - Precisão menor que 5mm e alcance menor que 2.000m

Registro de Dados (PVF4)

N3 - Dados armazenados em cartão magnético

N2 - Dados armazenados na memória interna do equipamento

N1 - Registro externo de dados (caderneta eletrônica)

Assistência Técnica (PVF5)

N4 - Assistência técnica no país e no mínimo 2 anos de garantia

N3 - Assistência técnica no país e menos de 2 anos de garantia

N2 - Assistência técnica no exterior e no mínimo 2 anos de garantia

N1 - Assistência técnica no exterior e menos de 2 anos de garantia

2.3 Identificação dos níveis de impacto BOM e NEUTRO de cada PVF

Acima do nível bom, considera-se que os resultados superam suas expectativas. Abaixo do nível neutro, estes estão aquém das suas expectativas, porém ainda passíveis de escolha, já que níveis de rejeição não são considerados.

PVF	1	2	3	4	5
BOM	N7	N4	N5	N3	N4
NEUTRO	N4	N2	N2	N1	N2

2.4 Construção das matrizes semânticas de juízos de valor de cada PVF

A matriz semântica representa o modelo de preferências do decisor. O modelo MACBETH - Measuring Alternative by a Categorical Based Evaluation Technique, utilizado neste trabalho, permite quantificar os juízos de valor de um conjunto finito de elementos, relativos a uma determinada característica.

Para construir a matriz semântica, é necessário questionar o decisor com respeito à diferença de atratividade entre duas opções dos níveis de impacto. Esta diferença de atratividade é classificada de acordo com as categorias de atratividade MACBETH, descritas a seguir:

CATEGORIAS DE ATRATIVIDADE MACBETH	
Diferença de atratividade	Representação
Muito Fraca	1
Fraca	2
Moderada	3

Forte	4
Muito Forte	5
Extrema	6

Após a construção da matriz semântica, determina-se, por meio de programação linear, a escala cardinal correspondente.

Custos (PVF1)

	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	MACBETH	V(a) *
N8	X	1	3	4	5	6	6	6	100	109
N7		X	3	4	5	6	6	6	96	100
N6			X	2	3	4	5	6	72	45
N5				X	1	3	4	6	60	18
N4					X	3	4	5	52	0
N3						X	3	4	36	-36
N2							X	3	20	0
N1								X	0	

O mesmo procedimento adotado para PVF1, foi adotado para os demais pontos de vista.

2.5 Determinação da escala cardinal de juízo de valor

O modelo utilizado neste trabalho para a totalização dos valores de cada ação, sob o ponto de vista do decisor, é o Modelo Aditivo, que representa a soma ponderada dos valores parciais dos PVF's:

$$V(a) = \sum w_j \cdot V_{PVF_j}(a) \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, n$$

e w_j representa a taxa de harmonização dos PVF's, determinada adiante.

Para a utilização do modelo aditivo, é necessário realizar uma transformação de escala nos valores obtidos pelo programa MACBETH, considerando os níveis BOM e NEUTRO de cada PVF.

$$V_j(\text{neutro}) = 0 \quad V_k(\text{bom}) = 100$$

A transformação de escala é realizada a partir da determinação da equação de transformação, para cada ponto de vista fundamental:

$$V(a) = \alpha \mu(a) + \beta \quad \text{onde } V(a) \text{ é a nova escala}$$

e $\mu(a)$ é o valor correspondente na escala Macbeth

- Custos (PVF1):

$$100 = 96\alpha + \beta \quad (\text{nível neutro}) \quad \alpha = 2,27$$

$$0 = 52\alpha + \beta \quad (\text{nível bom}) \quad \beta = -118,18$$

$$V(\text{PVF1}) = 2.27 \cdot \mu(a) - 118.18 \quad (\text{equação de transformação para o PVF1})$$

Substituindo-se os valores correspondentes a cada valor da escala Macbeth, obtém-se a nova escala $V(a)$ *. Para os demais PVF's, os cálculos são semelhantes.

- Medição angular: $V(\text{PVF2}) = 1.61 \cdot \mu(a) - 37$

- Medição linear: $V(\text{PVF3}) = 1.92 \cdot \mu(a) - 73$

• Registro dos Dados - Como os níveis NEUTRO e BOM coincidiram, neste ponto fundamental, com os valores de 100 e 0 na escala Macbeth, não houve transformação de escala.

• Assistência Técnica: $V(PVF5) = 1.42 \cdot \mu(a) - 43$

2.6 Determinação da escala cardinal de juízo de valor entre PVF's

A aplicação do modelo aditivo exige a determinação das taxas de harmonização dos PVF's. A primeira etapa para a determinação destas taxas corresponde à hierarquização dos mesmos, realizada solicitando-se ao decisor a indicação, entre dois pontos de vista, do mais importante. O resultado desta indicação é a matriz de ordenação dos PVF's.

MATRIZ DE ORDENAÇÃO DOS PVF'S

	1	2	3	4	5		ORDENAÇÃO
1	X	1	1	1	1	4	1
2	0	x	0	0	0	0	5
3	0	1	x	0	0	1	4
4	0	1	1	x	1	3	2
5	0	1	1	0	x	2	3

Hierarquizados os pontos de vista, a etapa seguinte consiste em aplicar a metodologia Macbeth para obter a matriz de juízo de valor entre PVF's:

PVF	1	4	5	3	2	A0	Macbeth	Normaliz.
1	x	2	3	4	5	6	100	0,31
4		x	3	4	4	6	86	0,27
5			x	3	4	6	71	0,22
3				x	2	4	43	0,13
2					x	2	21	0,07
A0						x	0	

Os valores normalizados da escala Macbeth correspondem à taxa de harmonização dos PVF's.

2.7 Identificação e caracterização das ações possíveis

TAQUE	Valor	Pagto	Prec. Ang.	Leitur. Ang.	Prec. Lin.	Alcance (m)	Armaz. dados	Local assist.	Garant.
1	15.700	30dias	3"	1"	2mm	3.500	cartão	no país	1 ano
2	9.000	30dias	5"	1"	5mm	1300	interno	no país	1 ano
3	9500	50%.	5"	1"	5mm	2.100	externo	no país	2 anos
4	12.500	50%	1,5"	1"	3mm	2.400	interno	no país	2 anos
5	15.500	30dias	3"	1"	3mm	2.100	externo	no país	2 anos
6	13.000	30dias	5"	5"	5mm	1.200	externo	no país	2 anos

2.8 Determinação do impacto dos juízos de valor sobre cada ação

De posse de todos os elementos necessários, nesta etapa realiza-se a totalização do valor de cada ação:

--

	Taxas de Harmoniz.	TAQUE 1	TAQUE 2	TAQUE 3	TAQUE 4	TAQUE 5	TAQUE 6
PVF1	0,31	-36	109	45	45	-36	100
PVF2	0,07	124	100	100	124	124	74
PVF3	0,13	119	83	83	100	100	0
PVF4	0,27	100	0	0	75	100	0
PVF5	0,22	71	100	100	100	100	100
VALOR GLOBAL	1	56	77	54	78	60	58

O resultado obtido indica como alternativa mais adequada para o decisor o taqueômetro 4. As análises realizadas a seguir permitem diversas comparações entre as ações e verificação da confiabilidade da solução.

2.9 Construção dos perfis de impacto das ações

Os perfis de impacto indicam uma homogeneidade de comportamento das ações com respeito aos juízos de valor do decisor. Este resultado reflete a dificuldade de escolha, neste tipo de aplicação, já que não se identifica, numa análise superficial, uma ação que tenha grande destaque com relação às outras. Este fato reforça a aplicabilidade da técnica MCDA, uma vez que a decisão final pode ser totalmente demonstrada. Neste caso somente o perfil de impacto da ação 1 (TAQUE1) será demonstrado.

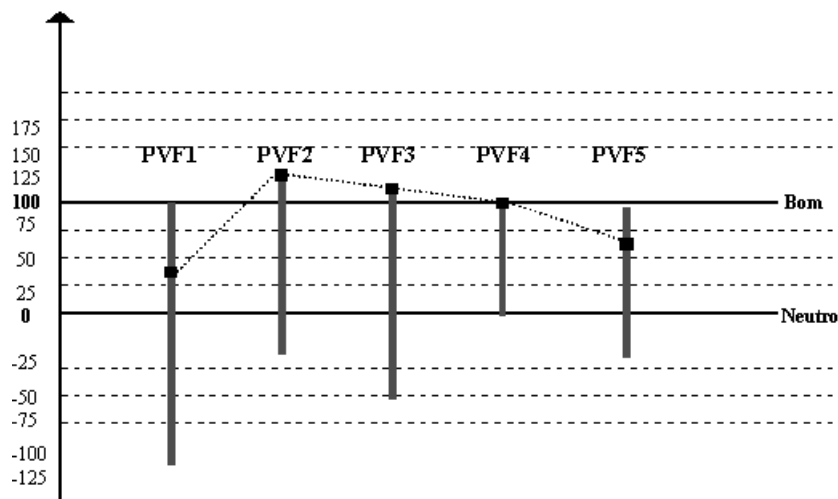


Fig. 2: Perfil de Impacto da Ação 3 (Taque1)

2.10 Análise de sensibilidade

Uma análise de sensibilidade permite avaliar o quão robusta é a escolha de uma alternativa de ação em relação aos pesos estabelecidos para cada ponto de vista. Sua realização contribui para que o decisor tenha um maior conhecimento sobre o problema em questão, desta forma, podendo levá-lo a reconsiderar algum peso atribuído a determinado ponto de vista fundamental. Na maioria dos casos ela também demonstra que os pesos atribuídos aos pontos de vista não necessitam ser precisos, isto porque geralmente são necessárias grandes mudanças nestes pesos para fazer com que uma alternativa de ação passe a ser mais atrativa do que a outra.

Os mapas de sensibilidade comprovaram o bom desempenho de todas as ações quando se relaciona os custos com os demais PVF's. No entanto o taqueômetro 4, considerado o mais adequado, mantém-se numa posição estável em todos os gráficos.

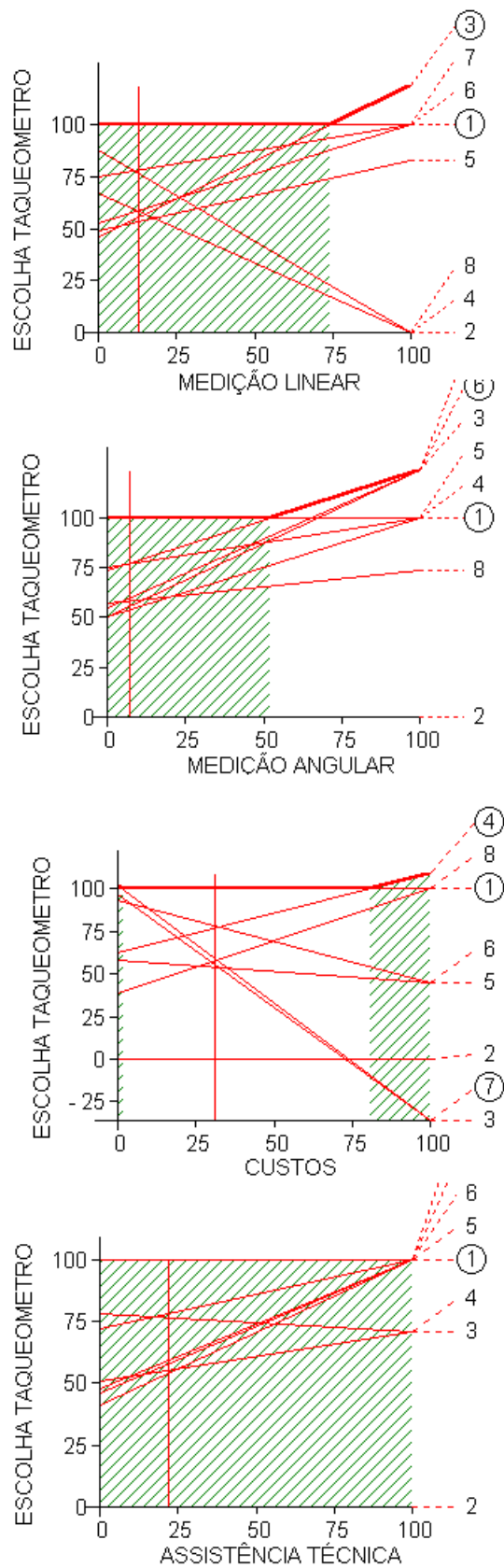


Fig. 3: Gráficos de Análise da Sensibilidade para as alternativas de ação em relação aos pontos de vista fundamentais **Medição Linear** (PVF3) e **Medição Angular** (PVF2); **Custo** (PVF1) e **Assistência Técnica** (PVF5); respectivamente

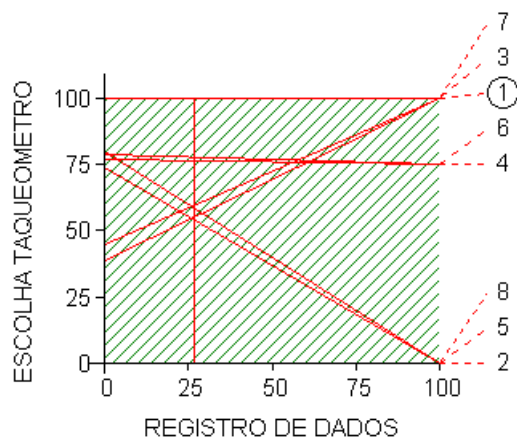


Fig. 4: Gráfico de Análise da Sensibilidade para as alternativas de ação em relação ao ponto de vista fundamental **Registro de Dados** (PVF4)

3. Conclusão

Os resultados apresentados comprovam a aplicabilidade da metodologia MCDA à escolha de taqueômetros, especialmente na especificação de pesos para características destes equipamentos na montagem de editais de licitação, onde um resultado confiável é necessário, a fim de se evitar contestações ou acusações de favorecimento.

A técnica MCDA comprova a dificuldade de escolha, neste tipo de aplicação, onde diversos equipamentos possuem características bastante similares. Isto leva frequentemente a decisões baseadas apenas no fator custo, onde o decisor constata posteriormente que elementos importantes deixaram de ser considerados. Exemplos destes elementos são a precisão e a forma de armazenamento de dados, que muitas vezes mostram-se inadequadas à aplicação desejada.

A utilização da metodologia é relativamente simples, residindo a maior dificuldade na obtenção dos juízos de valor do decisor, que exigiria o conhecimento de técnicas mais apuradas, para se atingir melhores resultados.

4. Referências Bibliográficas

BANA e COSTA, C.A.: *Une méthode pour l'aide à la decision en situations multicritères et multiacteurs*. Sistemi Urbani, v.3, p. 301-332, 1990 (a).

BANA e COSTA, C.A.: *Multiple criteria decision aid: an overview*. In: Readings in multiple criteria decision aid, Springer-Verlag, p. 3-14, 1990 (b).

BANA e COSTA, C.A.: *Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH*, Investigação Operacional, v. 15, p. 15-35, 1995 (c).

BANA e COSTA, C.A.: *Multicriteria decision analysis: some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings*. In: XIV European Conference on Operational Research, Jul., 1995.

BANA e COSTA, C.A.; PIRLOT, M.: *Thoughts on the future of the multicriteria field: basic convictions and outline for a general methodology (no prelo)*.

GOODWIN, P.; Wright, G.: *Decisions involving multiple objectives*. In: Decision Analysis for Management Judgment. p. 7-36, s/d.

ROY, B.: *Métodologie multicritère d'aide à la decision*, Economica, 1985.