

**Avaliação de alternativas pelo método TODIM considerando diferentes valores do fator de atenuação de perdas****Luís Alberto Duncan Rangel**UFF/EEIMVR – Departamento de Engenharia de Produção  
Av. dos Trabalhadores 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, RJ, CEP 27.251-350  
duncan@metal.eeimvr.uff.br**Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes**Ibmec/RJ  
Av. Presidente Wilson, 118, Sala 1110, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 20030-020  
autran@ibmecrj.br**Silvana Valitutto Duncan Rangel**UFF/EEIMVR – Departamento de Metalurgia Industrial  
Av. dos Trabalhadores 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, RJ, CEP 27.251-350  
silvana@metal.eeimvr.uff.br**RESUMO**

O método multicritério discreto TODIM surgiu na literatura internacional de Pesquisa Operacional no início dos anos 90 e é objeto de várias aplicações e extensões. Consistindo no único método naquela categoria que é calcado na Teoria dos Prospectos, TODIM faz uso de um fator de atenuação de perdas que é geral para o conjunto de critérios. Nesta pesquisa utiliza-se o mesmo método TODIM, porém levando-se em conta como as preferências dos decisores podem conduzir à definição do fator de atenuação de perdas individual para cada critério. Assim, o valor global a ser obtido para cada alternativa é obtido com o somatório de suas avaliações segundo cada critério, de acordo com as preferências do decisores em relação aos critérios e em relação às perdas referentes a tais critérios. Apresenta-se um exemplo numérico de aplicação, discutindo-se os resultados do mesmo, bem como as vantagens e eventuais desvantagens do procedimento aqui proposto.

**PALAVRAS CHAVE. Método TODIM, Apoio Multicritério à Decisão, Avaliação Multicritério de Projetos.****ABSTRACT**

The discrete multicriteria method TODIM appeared in the international O.R. literature in the early nineties and has been the object of a number of applications as well as extensions since then. Being the only method in that category that is based on Prospect Theory, TODIM makes use of a loss attenuation factor. This factor has a general value for all criteria. In this research paper the TODIM method is used, but the loss attenuation factor is disaggregated by criteria. By doing this the global value of each alternative represents the sum of its evaluations by every criterion, according to the decision makers' preferences with respect to criteria and to their respective losses. A numerical application example is presented. Results are then discussed and advantages as well as disadvantages of the proposed approach are analyzed.

**KEYWORDS. TODIM method. Multicriteria decision aiding. Multicriteria evaluation of projects.****Área principal: ADM - Multicriteria Decision Support**

## 1. Introdução

Os métodos multicritérios têm como característica poder empregar em seus procedimentos de cálculos as informações, dados e preferências dos decisores, (GOMES & GOMES 2012). Esta metodologia auxilia o processo de decisão, recomendando ações ou cursos de ações a quem vai tomar a decisão que pode ser realizado por uma pessoa ou grupo de pessoas (BELTON & STEWART, 2002).

Em processos decisórios realizados através dos métodos do Apoio Multicritério à Decisão, as preferências dos decisores são levadas em consideração através dos diversos parâmetros presentes nos métodos, e também, em muitos métodos, através das preferências inter-critério emitida pelos decisores.

A grande maioria dos métodos emprega as preferências dos decisores como é o caso do método TODIM, que utiliza em suas formulações estas preferências inter-critério dos decisores. Já o outro parâmetro deste método que o decisor pode influenciar é através do fator de atenuação da perda. Este fator utilizado neste método é definido pelos decisores para ser empregado nos cálculos da desejabilidade parcial. E após definido um mesmo valor do fator de atenuação de perda é utilizada para todos os critérios.

Esta pesquisa na área de Apoio Multicritério à Decisão tendo como base o método TODIM e busca verificar os meios para que nas regiões de perdas, isto é, nas comparações entre as alternativas em que ocorrem perdas sejam levadas em considerações no processo decisório.

Assim, para verificar este procedimento de cálculo uma avaliação já realizada com o método TODIM foi tomada e uma nova implementação foi realizado sob esta nova consideração e os resultados foram comentados. O próximo item apresenta uma revisão do método TODIM que é muito importante para as colocações dos procedimentos de cálculos, e um exemplo já implementado é explorado. Os resultados são comentados e as conclusões apresentadas.

## 2. Metodologia do Apoio Multicritério à Decisão

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) é uma área da Pesquisa Operacional utilizados em problemas de decisão para selecionar, classificar e ordenar alternativas em presença de critérios conflitantes, visando encontrar uma alternativa ou conjunto de alternativas que se apresentem como soluções para o problema, dentro de um grupo de alternativas viáveis ou factíveis (BARBA-ROMERO & POMEROL, 1997; ROY & BOUYSSOU, 1993). Esta metodologia pode ainda ser utilizada para esclarecer a decisão. Nas metodologias do AMD considera em suas múltiplas aplicações tanto o fator humano como a subjetividade, sempre presente em problemas de decisão (VINCKE, 1992; BELTON & STEWART, 2002; GOMES & GOMES 2012).

Existem diversas classificações dos métodos do AMD, a mais divulgada classifica os métodos em três grandes classes: métodos da Escola Francesa (ou Européia), métodos da Escola Americana e métodos Híbridos. Os métodos da Escola Francesa, como ELECTRE e PROMÉTHÉE (BRANS, MARESCHAL & VINCKE, 1986; BRANS & MARESCHAL, 2002) realizam comparação par a par entre as alternativas na avaliação decisória, considerando-se a relação de superação (ROY & BOUYSSOU, 1993). Os métodos da Escola Americana, como a MAUT (KEENEY & RAIFFA, 1993) o AHP (SAATY, 1991), agregam os critérios em um único modelo de síntese. Já os métodos híbridos, como o TODIM (GOMES & LIMA, 1992), empregam uma combinação de conceitos empregados na Escola Francesa e Americana em uma só metodologia. Apresenta-se a seguir uma breve introdução sobre a Teoria dos Prospectos e logo depois o Método TODIM.

### 2.1. A Teoria dos Prospectos

Esta teoria foi desenvolvida a partir das pesquisas de dois psicólogos israelenses, Daniel Kahneman e Amos Tversky (KAHNEMAN & TVERSKY, 1979). O objetivo dessas pesquisas era avaliar o comportamento humano durante a tomada de decisões em situações de risco. Estes psicólogos observaram que, nas situações que envolvem ganhos, há a tendência do ser humano em ser mais conservador em relação ao risco, ou seja, as pessoas preferem optar por um ganho

menor, porém seguro, a correr um risco para obter um ganho maior. Por outro lado, em situações que envolvem perdas, as pessoas mostram-se mais propensas ao risco, isto é, elas preferem correr o risco de ter perdas maiores (caso exista a possibilidade de não perderem nada) a aceitar uma perda menor, porém segura.

A Teoria dos Prospectos utiliza a função de valor para explicar a aversão e a propensão ao risco. Esta função tem a forma de “S”, representada na Figura 1. Acima do eixo horizontal, considerado como referência desta análise, tem-se uma curva côncava representando os ganhos, e, abaixo do eixo horizontal, tem-se uma curva convexa representando as perdas. A parte côncava reflete a aversão ao risco em face aos ganhos, e a parte convexa, por sua vez, simboliza a propensão ao risco, quando se trata de perdas.

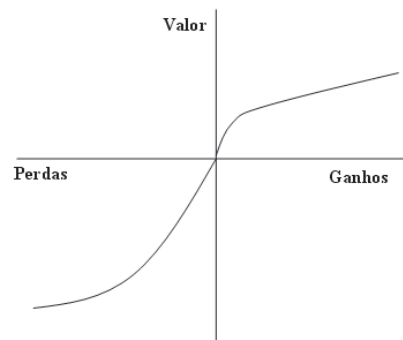


Figura 1 – Função de valor da Teoria dos Prospectos (GOMES & RANGEL, 2009)

## 2.2. O Método TODIM

O método multicritério TODIM (acrônimo de TOMada de Decisão Interativa e Multicritério), concebido em sua forma atual ao início dos anos 90 (GOMES, ARAYA & CARIGNANO, 2004), é provavelmente o único método multicritério fundamentado na Teoria dos Prospectos. Assim sendo, enquanto praticamente todos os demais métodos multicritério partem da premissa de que o tomador de decisão decide buscando sempre a solução correspondente ao máximo de alguma medida global de valor (por exemplo, o maior valor possível de uma função de utilidade multiatributo – no caso da MAUT), o método TODIM faz uso da noção de uma medida global de valor calculável pela aplicação do paradigma em que consiste a Teoria dos Prospectos. Com isto, o método se alicerça sobre uma descrição – já sobejamente comprovada por evidências empíricas – de como as pessoas efetivamente decidem em face ao risco.

No entanto, de modo a poder aplicar esse paradigma a uma base de dados proveniente de cálculos e de juízos de valor, o método TODIM deve testar formas específicas das funções de perdas e de ganhos. Estas servirão para construir-se a função de diferença aditiva do método, a qual fornece medidas de dominância de cada alternativa sobre cada outra alternativa. Embora pareça complicado ter-se que testar aquela validade da aplicação do paradigma à base de dados, o que poderia eventualmente obrigar o analista de decisão a usar outras formas das funções de perdas e de ganhos, na verdade não o é, pois, desde os primeiros usos práticos do método TODIM, ainda no início dos anos noventa do século passado, as duas mesmas formas matemáticas tem sido empregadas com sucesso (ou seja, tem sido validada empiricamente).

A partir da construção da já mencionada função de diferença aditiva do TODIM – a qual funciona como uma função de valor multiatributo e, como tal, deve ter seu uso também validado, pela verificação da condição de independência preferencial mútua (KEENEY & RAIFFA, 1993; CLEMEN & REILLY, 2001) – o método conduz a uma ordenação global das alternativas. Observe-se que se constrói a função de valor multiatributo – ou função de diferença aditiva – do método TODIM partindo-se de uma projeção das diferenças entre os valores de duas alternativas quaisquer (percebida em relação a cada critério) sobre um critério referencial ou

critério de referência.

O método TODIM faz uso de comparações por pares entre os critérios de decisão, possuindo recursos tecnicamente simples e corretos para eliminar eventuais inconsistências provenientes dessas comparações. Também permite efetuar-se juízos de valor em uma escala verbal, utilizar uma hierarquia de critérios, juízos de valor nebulosos e fazer uso de relações de interdependência entre alternativas. Diversas pesquisas e aplicações tem sido realizadas com o emprego do método TODIM, bem como extensões deste método tem sido propostas (FAN et al., 2013; GOMES & LIMA, 1991; GOMES & LIMA, 1992; KROHLING & SOUZA, 2012; NOBRE, TROTTA & GOMES, 1999; GOMES & RANGEL, 2009, GOMES, MACHADO & RANGEL, 2013).

Considere-se um conjunto de  $n$  alternativas a serem ordenadas na presença de  $m$  critérios quantitativos ou qualitativos. Para determinar os pesos dos critérios, o método TODIM emprega uma matriz de comparação por pares entre critérios. Para formar esta matriz, faz-se uso da escala de Saaty (1991). Como, no entanto, toda matriz de comparações por pares pode conter alguma inconsistência, decorrente da violação da transitividade, o método TODIM possui um recurso que, ao mesmo tempo em que respeita os juízos de valor que conduziram à essa matriz inicial, corrige-os de uma forma sistemática, eliminando por completo a eventual inconsistência. Uma vez assim constituída a matriz corrigida de comparações por pares entre os critérios, a aplicação do método TODIM prossegue na direção da obtenção dos pesos dos critérios, usando-se para isto as seguintes duas etapas: *i.* somam-se os valores ao longo de cada coluna dessa matriz corrigida; *ii.* calculam-se os recíprocos dessas somas; *iii.* divide-se cada um desses recíprocos pelas soma dos recíprocos: os valores desta forma obtidos serão os pesos dos critérios. Após a definição desses pesos dos critérios, pede-se a especialistas que estimem, para cada um dos critérios qualitativos  $c$ , a contribuição de cada alternativa  $i$  para o objetivo associado ao critério. Este método requer que os valores das avaliações, dos critérios em relação às alternativas, sejam numéricos e que sejam normalizados, portanto os critérios qualitativos avaliados numa escala verbal são transformados numa escala cardinal. As avaliações dos critérios quantitativos são obtidas através dos desempenhos das alternativas em relação aos critérios, como por exemplo, nível de ruído em decibéis, potência de um motor em HP, nota de um aluno em uma disciplina etc. (GOMES, ARAYA & CARIGNANO, 2004).

Após a avaliação das alternativas em relação a todos os critérios, obtém-se a matriz de avaliação, onde os valores são todos numéricos. Faz-se então a normalização dos mesmos, empregando-se, por exemplo, para determinado critério, a divisão do valor de uma alternativa pela soma dos valores de todas as alternativas. Essa normalização é feita para cada critério, obtendo-se assim uma matriz, onde todos os valores estão entre 0 e 1, denominada matriz de desejabilidades parciais  $P = [P_{nm}]$ , conforme se mostra na Tabela 1 (GOMES & RANGEL, 2009).

Alternativas	Critérios					
	$C_1$	$C_2$	...	$C_j$	...	$C_m$
$A_1$	$P_{11}$	$P_{12}$	...	$P_{1j}$	...	$P_{1m}$
$A_2$	$P_{21}$	$P_{22}$	...	$P_{2j}$	...	$P_{2m}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$P_{i1}$	$P_{i2}$	...	$P_{ij}$	...	$P_{im}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_n$	$P_{n1}$	$P_{n2}$	...	$P_{nj}$	...	$P_{nm}$

Tabela 1 – Matriz de desejabilidades parciais

Após a atribuição dos pesos dos critérios e de sua normalização, necessita-se calcular as matrizes de dominância parciais e a matriz de dominância final. Admita-se agora que um dos  $m$  critérios pode ser considerado como sendo um critério de referência  $r$ ; este poderá ser, por exemplo, identificado como sendo o critério de maior peso. Assim,  $w_{rc}$  representa a taxa de substituição do critério em análise  $c$  em relação ao critério de referência  $r$ . A medida de

dominância de cada alternativa  $i$  sobre cada alternativa  $j$ , incorporada agora à Teoria dos Prospectos, é dada pela expressão matemática (2):

$$\delta(A_i, A_j) = \sum_{c=1}^m \Phi_c(A_i, A_j), \forall (i, j) \quad (2)$$

Quando:

$$\Phi_c(A_i, A_j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{w_{rc}(P_{ic} - P_{jc})}{\sum_{c=1}^m w_{rc}}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) > 0, \quad (3) \\ 0 & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) = 0, \quad (4) \\ \frac{-1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{c=1}^m w_{rc})(P_{jc} - P_{ic})}{w_{rc}}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) < 0, \quad (5) \end{cases}$$

assim:

- $\delta(i, j)$  representa a medida de dominância da alternativa  $A_i$  sobre a alternativa  $A_j$ ;
- $m$  é o número de critérios;
- $c$  é um critério qualquer, para  $c = 1, 2, \dots, m$ ;
- $P_{rc}$  é a taxa de substituição do critério  $P_c$  pelo critério de referência  $P_r$ ;
- $P_{ic}$  e  $P_{jc}$  são, respectivamente, as performances das alternativas  $A_i$  e  $A_j$  em relação a  $c$ ;
- $\theta$  é o fator de atenuação das perdas.

O fator de atenuação  $\theta$  possibilita a obtenção de diferentes formas da função de valor da teoria dos prospectos no terceiro quadrante. O fator  $\Phi_c(A_i, A_j)$  representa a parcela de contribuição do critério  $c$  à função  $\delta(A_i, A_j)$ , quando se compara a alternativa  $i$  com a alternativa  $j$ . Caso o valor de  $P_{ic} - P_{jc}$  seja positivo, representará um ganho para a função  $\delta(A_i, A_j)$  e, portanto, será usada a expressão de  $\Phi_c(A_i, A_j)$  correspondente, isto é, à equação (3). Caso  $P_{ic} - P_{jc}$  seja nulo, será atribuído o valor nulo para  $\Phi_c(A_i, A_j)$ , isto é, a equação (4), e se  $P_{ic} - P_{jc}$  for negativo,  $\Phi_c(A_i, A_j)$  será representado pela equação (5).

Depois de calculadas as diversas matrizes de dominância parciais, uma para cada critério, obtém-se a matriz de dominância final  $\delta(A_i, A_j)$ , através da soma dos elementos das diversas matrizes.

A matriz de dominância final é então normalizada, usando-se a expressão (6), para obter o valor global de cada alternativa. Deve-se interpretar cada número calculado como a medida da desejabilidade ou utilidade global, ou, simplesmente, como o valor de uma alternativa específica. A ordenação das alternativas origina-se da ordenação de seus respectivos valores.

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j)}{\max \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j)} \quad (6)$$

Portanto, o método TODIM determina, a partir das preferências expressas por um decisor ou um grupo de decisores, uma escolha, ao ordenar todas as alternativas. Mudando-se tal conjunto de preferências, pode-se eventualmente chegar a um novo resultado, através de uma análise de sensibilidade.

### 3. Método TODIM: Considerando Diferentes Valores para o Fator de Atenuação de Perdas

Os métodos de Apoio Multicritério Decisão para serem implementados, de uma forma geral, necessitam da avaliação das alternativas em relação aos critérios e, em muitos métodos, da avaliação inter-critério realizado pelos avaliadores para a obtenção da matriz de avaliação.

As publicações recentes do método TODIM (KROHLING & SOUZA, 2012; FAN *et al*, 2013) buscam considerar em suas implementações a lógica fuzzy. Já as publicações em relação a aplicação do método TODIM, levam em consideração as preferências do decisor em relação ao processo decisório como um todo, isto é, em relação ao objetivo geral do processo decisório.

Assim, como em outros métodos de AMD, verifica-se no método TODIM, que os parâmetros que o decisor pode intervir no processo decisório de forma expressar as suas preferências são:

- i. Os pesos dos critérios (constantes de escala)  $w_i$ , sendo  $i = 1, 2, \dots, n$ , e  $n$  representa o número de critérios presente no processo decisório. Observando-se as equações (3), (4) e (5) deste método, verificam-se nestas, que os decisores podem expressar as suas preferências de acordo com o objetivo geral do processo decisório;
- ii. O fator de atenuação da perda  $\theta$ , presente na equação (5), representa o quanto o decisor esta disposto a considerar nas avaliações entre duas alternativas do processo decisório em que ocorre perda.

Desta forma, no caso do método TODIM, as preferências do decisor são expressas através destes parâmetros  $w_i$  e  $\theta$ . Então para o parâmetro  $w_i$ , o decisor já expressa a sua preferência através da quantificação dos diferentes valores de  $w_i$ . Levando em consideração que o somatório  $w_i$  tem que ser igual a uma unidade com a finalidade de normalizar os seus diferentes valores.

Esta pesquisa buscou desenvolver um meio, através do método TODIM, para que os decisores também expressem as suas preferências, em situações de perda, de modo a quantificar para os diferentes critérios, diferentes valores do fator de atenuação das perdas.

A adoção de um fator de atenuação de perda diferente para um determinado critério visa quantificar de maneira diferente as perdas em determinado critério, que o decisor julgue necessário considerar no processo decisório. Pode-se variar o fator de atenuação de perda para o critério mais importante. Sob esta consideração pode-se ter um valor diferente do fator de atenuação de perda  $\theta_c$  para os  $n$  diferentes critérios.

Para realizar estes cálculos, levando em consideração os diferentes valores do fator de atenuação de perda para os critérios, tem-se uma nova equação (7). Reescrevendo as equações (3) e (4) e a nova equação (7), têm-se as expressões matemáticas para realizar os cálculos:

$$\Phi_c(A_i, A_j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{w_{rc}(P_{ic} - P_{jc})}{\sum_{c=1}^m w_{rc}}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) > 0, & (3) \\ 0 & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) = 0, & (4) \\ \frac{-1}{\theta_c} \sqrt{\frac{(\sum_{c=1}^m w_{rc})(P_{jc} - P_{ic})}{w_{rc}}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) < 0, & (7) \end{cases}$$

A ordenação das alternativas através do método TODIM, obtido com o cálculo do valor global das alternativas será efetuado da mesma maneira que antes, só que agora considerando as expressões, (2), (3), (4), (6) e (7).

Verifica-se através do método TODIM, sob esta nova consideração que, caso o decisor queira expressar no processo decisório, também, as suas preferências em relação ao fator de atenuação de perdas, poderá fazer, de forma a garantir ao processo decisório as suas preferências. A percepção das perdas para os decisores pode ser diferente de critério para critério. Nestes casos tem que realizar a implementação através destas equações do método TODIM.

#### 4. Avaliações e Resultados

Um exemplo foi implementado com a finalidade de verificar esta proposta de avaliação através deste método TODIM considerando diferentes valores do fator de atenuação de perdas para os critérios. Assim, com as informações de um exemplo numérico já implementado, esta nova proposta de avaliação será realizada e os resultados comentados.

##### 4.1. Exemplo do método TODIM considerado neste estudo de caso

O exemplo escolhido foi o de avaliação de alunos (Rangel, Gomes & Rangel, 2011). Naquele exemplo um grupo de alunos foi aviado segundo o método TODIM visando a ordenação daquele grupo de alunos considerando diversos critérios, tais como: Coeficiente de Rendimento (CR), número de participações em projetos de Iniciação Científica (IC), número de participações em atividades de Monitoria (M), número de participações em projetos de Extensão (Extensão) e número de Artigos Técnicos elaborados (Artigos).

Para o desenvolvimento deste artigo algumas informações são aqui apresentadas para que haja entendimento dos comentários que são realizados para acompanhamento do estudo de caso. Assim, consideraram-se os dados do exemplo. A Tabela 2 apresenta a matriz de avaliação, isto é, os desempenhos das alternativas em relação aos critérios. Já a tabela 3 apresenta os pesos dos critérios de avaliação das alternativas.

Matriz de Desempenho das Alternativas					
Alunos	Critérios				
	CR (C <sub>1</sub> )	IC (C <sub>2</sub> )	Monitoria (C <sub>3</sub> )	Extensão (C <sub>4</sub> )	Artigos (C <sub>5</sub> )
A	7	0	0	3	1
B	8,6	3	0	2	3
C	7,8	1	0	0	0
D	9,5	1	0	0	0
E	7,3	0	2	0	0
F	6,2	1	0	1	0
G	8,4	1	1	0	0
H	6,4	0	0	0	0
I	5,5	0	0	1	0
J	7,1	0	0	1	0

Tabela 2 – Matriz de desempenho das alternativas

Pesos dos Critérios					
Critérios	CR (C <sub>1</sub> )	IC (C <sub>2</sub> )	Monitoria (C <sub>3</sub> )	Extensão (C <sub>4</sub> )	Artigos (C <sub>5</sub> )
Pesos	5	3	3	3	1

Tabela 3 – Peso dos critérios no estudo

Os valores apresentados na Tabela 2 foram normalizados e utilizados conforme as equações (2); (3); (4) e (5). Após esta etapa estes resultados são normalizados pelo método TODIM empregando a equação (6). Verifica-se, observando a Tabela 2, que o aluno que apresenta o maior CR é o aluno D. Verifica-se também este aluno só participou de uma atividade extracurricular, de iniciação científica (IC). Por outro lado, o aluno B não é aluno com maior coeficiente de rendimento (CR), mas participou de diversas atividades (IC, Extensão e Elaborou

de Artigos) ao longo de seu curso de Engenharia de Produção. Para um fator de atenuação de  $\theta$  igual a 1 para todos os critérios os valores são apresentados na Tabela 4.

Alunos	B	A	G	D	F	C	E	J	I	H
$\theta = 1$	1,000	0,495	0,490	0,402	0,356	0,315	0,305	0,240	0,101	0,000

Tabela 4 – Resultados do método TODIM considerando o fator de atenuação das perdas  $\theta = 1$

#### 4.2. Método TODIM: Uma nova consideração de avaliação

Verificam-se que os métodos de Apoio Multicritério à Decisão, os decisores são os elementos primordiais neste processo decisório, pois os métodos permitem de uma ou de outra forma, considerar as suas preferências e/ou as suas informações nas decisões.

No método TODIM, apresentado no item dois deste processo, com diversas aplicações nas mais diversas áreas, permite que os decisores intercedam no processo através de dois parâmetros, quais sejam, os valores de suas preferências em relação aos critérios presentes no processo decisório, isto é, os pesos atribuídos aos critérios, e o fator de atenuação das perdas, em que o decisor exprime as suas preferências em relação as perdas, de maneira geral, para o problema abordado.

Nesta proposta de avaliação através do método TODIM, empregando de uma nova consideração, pois permite que o decisor trabalhe com diferentes fatores de atenuação das perdas para os diferentes critérios.

Nesta nova consideração, se o decisor esta mais sensível as perdas em algum critério presente no processo decisório, este modelo matemático do método TODIM, permite fazer esta consideração. A figura 2 apresenta um desenho esquemático simplificado do emprego dos diferentes fatores de atenuação das perdas para um mesmo problema.

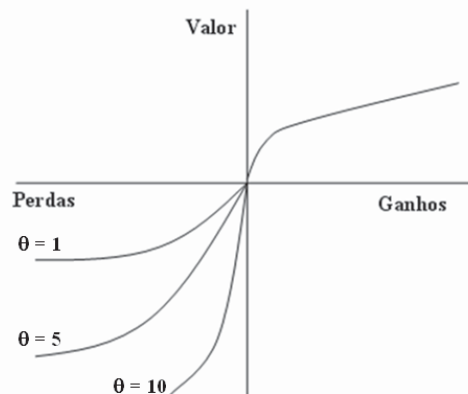


Figura 2 – Função de valor para diferentes valores do fator de atenuação das perdas

Desta forma, um diferente fator de atenuação das perdas poderá ser utilizado para cada critério, de acordo com as preferências do decisor em relação a perdas de cada critério. O valor global dos desempenhos das alternativas será calculado pelo método TODIM empregando a mesma formulação de cálculo do valor global, apresentado nas equações (2), (3), (4), (6) e (7).

Nesta nova abordagem realizada no exemplo de avaliação dos alunos para a obtenção do cálculo do valor global das alternativas, um critério foi selecionado para considerar diferente valor para o seu fator de atenuação das perdas, o critério  $C_1$ . Verifica-se que neste critério, que é obrigatório para todos os alunos, que estes se esforçam em sua melhoria e aumento de valor, pois a universidade utilizada esta informação para diversas atividades acadêmicas, como por exemplo, ordem de matrícula, e com isso melhor horário.

O valor do fator de atenuação da perda considerado para todo o problema foi de uma unidade. Assim, o fator considerado também para o critério  $C_1$  foi de 1 unidade. A tabela 5 na



primeira coluna ( $\theta_1 = 1$ ) apresenta os resultados do valor global das alternativas sob esta consideração.

Verifica-se neste exemplo que o critério  $C_1$ , que avalia o desempenho dos estudantes através dos coeficientes de rendimento (RANGEL *et al*, 2011), é muito importante na avaliação dos alunos. Com isso, nas avaliações entre duas alternativas em que ocorre valores negativos, isto é, perdas, o decisor pode avaliar estas perdas, variando o valor de atenuação de perda para o critério que esta sendo analisado e comparando as alterações nos valores globais das alternativas.

Com os valores de  $\theta$  igual a 3, 5, 7 e 10 para o critério  $C_1$ , mantendo o fator de atenuação de perda  $\theta = 1$  para os outros quatro critérios ( $C_2, C_3, C_4$  e  $C_5$ ), efetuou-se os cálculos dos valores globais das alternativas através do método TODIM. Os valores calculados são apresentados na Tabela 5 abaixo.

Alunos	Valor Global das Alternativas para Diferentes Valores do Fator de Atenuação das Perdas				
	$\theta_1 = 1$	$\theta_1 = 3$	$\theta_1 = 5$	$\theta_1 = 7$	$\theta_1 = 10$
A	0.505	0.519	0.522	0.523	0.524
B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
C	0.315	0.278	0.270	0.267	0.264
D	0.402	0.338	0.324	0.317	0.313
E	0.305	0.284	0.280	0.278	0.276
F	0.356	0.400	0.410	0.414	0.417
G	0.490	0.451	0.443	0.439	0.436
H	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
I	0.101	0.160	0.173	0.178	0.183

Tabela 5 – Valor global das alternativas para  $\theta_1 = 1, 3, 5, 7$  e  $10$  para  $C_1$  e  $\theta_n = 1$  para os outros critérios

A Tabela 6 apresenta a ordenação das alternativas considerando os diferentes valores do fator de atenuação de perda para o critério  $C_1$ .

Posição	Ordenação das Alternativas para os Diferentes Valores do Fator de Atenuação das Perdas do Critério $C_1$				
	$\theta_1 = 1$	$\theta_1 = 3$	$\theta_1 = 5$	$\theta_1 = 7$	$\theta_1 = 10$
1	B	B	B	B	B
2	A	A	A	A	A
3	G	G	G	G	G
4	D	F	F	F	F
5	F	D	D	D	D
6	C	E	E	E	E
7	E	C	C	C	C
8	J	J	J	J	J
9	I	I	I	I	I
10	H	H	H	H	H

Tabela 6 – Ordenação das Alternativas para  $\theta_1 = 1, 3, 5, 7$  e  $10$  para  $C_1$

### 4.3. Comentários dos Resultados

Observando a Tabela 6, verifica-se que a ordenação das três primeiras alternativas (B, A e G) não se alteram com a variação dos diferentes valores do fator de atenuação de perdas. A mesma situação acontece com as três últimas alternativas (J, I e H).

Em relação a sexta e a sétima posição acontece uma troca de posições para  $\theta_1 = 1$  em relação aos outros valores de  $\theta_1$ . Vê-se que a diferença do coeficiente de rendimento  $C_1$  entre estas duas alternativas é próxima, sendo que a alternativa E possui uma atividade a mais que a alternativa C.

Verifica-se que entre a quarta e quinta posição acontece uma troca, entre as alternativas

D e F, quando o valor de  $\theta_1$  é alterado de 1 para os outros valores que  $\theta_1$  pode assumir. Vê-se que a diferença do coeficiente de rendimento  $C_1$  entre estas duas alternativas são bem diferente, a alternativa F, porém realiza outras atividades que são quantificadas também.

## 5. Conclusões

Em problemas de decisão abordado através dos métodos de Apoio Multicritério à Decisão, o decisor (analista) busca inserir no modelo matemático as suas preferências através de seus julgamentos.

No método TODIM, dois parâmetros podem sofrer a influência dos decisores (analista) em sua implementação, os pesos dos critérios e o valor de atenuação de perda. Os pesos dos critérios (constantes de escala) vão ser definidos em função das preferências dos decisores e das escalas dos critérios. O outro parâmetro do método TODIM que pode se influenciado pelos decisores é o fator de atenuação das perdas. Um mesmo fator de atenuação de perda é utilizado para todos os critérios neste método.

Neste procedimento de cálculo do método TODIM é permitido aos decisores (analista) a utilização de diferentes valores do fator de atenuação de perda para os critérios presentes na análise. Verificam-se em muitas implementações que em alguns critérios os decisores são mais sensíveis as perdas do que em outros critérios. Esta formulação do método TODIM possibilita esta consideração em sua formulação.

No exemplo utilizado nesta análise, o critério  $C_1$  - Coeficiente de Rendimento, é um critério muito importante neste processo de avaliação, haja vista, que foi o critério assinalado com o maior peso. Então, na comparação entre duas alternativas os decisores estão mais sensíveis as perdas de desempenho neste critério do que em outros. Por isso foi feito uma análise variando o fator de atenuação de perda neste critério. As mudanças provocadas na ordenação das alternativas, com a variação do fator de atenuação de perda, ocorreram em posições intermediárias da ordenação.

Desta forma, em processo de decisão através do método TODIM, quando o decisor esta mais sensível as perdas em um determinado critério, este procedimento de cálculo tem a vantagem de permitir considerar diferentes valores do fator de atenuação de perda para os diferentes critérios presentes na análise. Faz-se uma observação de não alterar indiscriminadamente o valor do fator de atenuação de perda dos critérios, somente naqueles em as perdas são realmente importantes, contribuindo para que a decisão seja realizada de acordo com as preferências dos decisores e de maneira mais clara.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido do CNPq através dos Projetos N.302692/2011-8 e N.305732/2012-9.

## Referências

**Barba-Romero, S. & Pomerol, J.C.** *Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica*. Madrid: Ed. Universidad de Alcalá, 1997.

**Belton, V. & Stewart, T.J.** *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002.

**Brans, J.P.; Mareschal, B. & Vincke, P.** How to select and how to rank projects The PROMÉTHÉE method for MCDM, *European Journal of Operational Research*, 24(2), pp. 228-238, 1986.

**Brans, J-P. & Mareschal, B.** PROMÉTHÉE-GAIA. *Une Méthodologie D'Aide à la Décision en Présence de Critères Multiples*. Bruxelas: Éditions de l'Université de Bruxelles, 2002.

**Clemen, R.T. & Reilly, T.** *Making Hard Decisions with Decision Tools*. Pacific Grove: Duxbury, 2001.

**Fan, Z.-P.; Zhang, X.; Chen, F.-D. & Liu, Y.** Extended TODIM method for hybrid MADM

problems. *Knowledge-Based Systems*, In press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2012.12.014>, 9 pp, 2013.

**Gomes, L.F.A.M. & Lima, M.M.P.P.** From Modelling Individual Preferences to Multicriteria Ranking of Discrete Alternatives: A Look at Prospect Theory and the Additive Difference Model, *Foundations of Computing and Decision Sciences*, v. 17, n.3, p.171-184, 1992.

**Gomes, L.F.A.M. & Gomes, C.F.S.** *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*, 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.

**Gomes, L.F.A.M. & Rangel, L.A.D.** An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties. *European Journal of Operational Research*, v. 193, n. 2, p. 204-211, 2009.

**Gomes, L.F.A.M.; Araya, M.C.G. & Carignano, C.** *Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

**Gomes, L.F.A.M.; Lima, M.M.P.P.** TODIM: Basics and Application to Multicriteria Ranking of Projects with Environmental Impacts. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, v. 16, n. 3-4, p. 113-127, 1991.

**Gomes, L.F.A.M.; Machado, M.A.S. & Rangel, L.A.D.** Behavioral multi-criteria decision analysis: the TODIM method with criteria interactions. *Annals of Operations Research*, available online in March 2013, <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-013-1345-0>, 18 pp, 2013.

**Kahneman, D. & Tversky, A.** Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica* 47, 263–292, 1979.

**Keeney, R.L. & Raiffa, H.**, *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

**Krohling, R.A.; Souza, T.M. de.** Combining Prospect Theory and Fuzzy Numbers to Multi-criteria Decision Making. *Expert Systems with Applications*, v. 39, Issue 13, p. 11487-11493, 2012.

**Nobre, F.F.; Trotta, L.T.F. & Gomes, L.F.A.M.** Multi-criteria decision making – An approach to setting priorities in health care, *Statistics in Medicine* 18, 3345–3354, 1999.

**Rangel, L.A.D.; Gomes, L.F.A.M., Rangel, S.V.D.** Avaliação de estudantes de engenharia de produção: aplicação do método TODIM. In: ENEGEP 2011, Belo Horizonte. Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2011.

**Roy, B. & Bouyssou, D.** *Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas*. Paris: Economica, 1993.

**Saaty, T.L.** *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: McGraw-Hill / Makron, 1991.

**Vincke, P.** *Multicriteria decision-aid*. New York: John Wiley & Sons, 1992.