

# Aplicação da Tecnologia Adaptativa em Sistemas de Tomada de Decisão

Angela Hum Tchemra

**Resumo.** - Tomar decisões para resolver problemas ou atingir determinados objetivos exige um processo de raciocínio em que as informações, as já adquiridas e as novas, quando comparadas entre si, possam levar a novas informações e, com isso, influenciar o processo. Chegar a uma decisão implica escolher uma alternativa entre as várias encontradas, obedecendo a determinados critérios. A tomada de decisão é, portanto, um processo de raciocínio complexo e dinâmico. Tabelas de decisão convencionais representam uma das ferramentas que auxiliam na solução de problemas dessa natureza. Este artigo se propõe a mostrar como os métodos da Tecnologia Adaptativa, em particular o uso de um dispositivo adaptativo baseado em tabelas de decisão, podem ser aplicados aos processos de tomada de decisão.

**Palavras-chave:** - problema de tomada de decisão, tabela de decisão adaptativa, tecnologia adaptativa.

## I. INTRODUÇÃO

As pesquisas na área de Tecnologia Adaptativa têm envolvido estudos nos mais variados campos do desenvolvimento científico, com a finalidade de buscar novos modelos de computação para auxiliar ou possibilitar a obtenção de soluções para problemas de diferentes níveis de complexidade.

Particularmente, problemas de tomada de decisão que exigem um processo de raciocínio, muitas vezes complexo e dinâmico, também são objetos de estudos e pesquisas nas mais variadas áreas do conhecimento. Nesses estudos, buscam-se modelos e métodos que auxiliem o responsável pela decisão na solução de tais problemas. Muitos sistemas computacionais também foram desenvolvidos para apoiar e agilizar o processo decisório.

Encontrar a solução de um problema de decisão significa chegar a uma decisão, que implica escolher uma alternativa entre as várias encontradas e que obedeça a determinados critérios. De acordo com o nível de complexidade dos problemas de decisão, os processos de obtenção das soluções exigem o maior número de informações possível, a fim de se reduzirem os riscos da decisão. Os sistemas computacionais usados geralmente se baseiam na idéia de *feedback*, com a retroalimentação de informações, para poder possibilitar ao decisor um melhor desempenho na decisão [1].

Em vista dessas características, o uso das técnicas

adaptativas pode ser aplicado nos processos decisórios. Segundo [2], a utilização de métodos desenvolvidos na Tecnologia Adaptativa pode se constituir em alternativa para a resolução de problemas complexos e de natureza dinâmica, como os de tomada de decisão, sobretudo por tais métodos serem eventualmente mais eficazes do que outros tradicionais.

A proposta deste trabalho tem como objetivo o estudo e aplicação de um dispositivo adaptativo, denominado Tabela de Decisão Adaptativa. Este estudo se propõe a desenvolver um modelo adaptativo, inspirado nas tabelas de decisão convencionais e nos dispositivos dirigidos por regras adaptativos. Também pretende mostrar como as tabelas de decisão adaptativas podem apoiar os processos decisórios.

Para avaliar esta proposta, pretende-se implementar um protótipo do modelo e realizar experimentos em aplicações de tomada de decisão, como, por exemplo, nas áreas de Gestão de Negócios e de Educação, entre outras. Os resultados obtidos nos experimentos deverão ser comparados com dados levantados com sistemas mais usuais e disponíveis no mercado de *software* para aplicações de mesma natureza.

## II. TECNOLOGIA ADAPTATIVA

[3] define o dispositivo adaptativo como um formalismo que tem a capacidade de alterar dinamicamente sua topologia e seu comportamento, de forma autônoma. O dispositivo adaptativo se automodifica ao detectar situações que exijam mudanças nas reações em resposta aos estímulos de entrada. Em outras palavras, o dispositivo deve se adaptar, reagindo adequadamente às mudanças impostas, em toda a sua extensão.

A característica principal de um sistema adaptativo que utiliza métodos desenvolvidos na Tecnologia Adaptativa é a de se automodificar, reprogramando dinamicamente sua própria estrutura e seu comportamento, baseado no conhecimento adquirido durante a sua operação. Essa característica dá ao sistema adaptativo recursos de inteligência, tornando-o capaz de aprender.

Os primeiros conceitos teóricos da Tecnologia Adaptativa, no Brasil, tiveram origem nas pesquisas por modelos para a construção de compiladores, baseados nos autômatos finitos e de pilha. Esses estudos progrediram para a geração de reconhecedores baseados em autômatos de pilha estruturados a partir de gramáticas livres de contexto, que, por sua vez, culminaram na concepção dos autômatos adaptativos [4].

Assim, o conceito de adaptabilidade foi originado no modelo formal conhecido como Autômato Adaptativo, que é uma extensão do autômato de pilha estruturado, e este, através da execução de funções adaptativas predefinidas, altera seu comportamento em resposta às entradas recebidas.

A versatilidade e a aplicabilidade das técnicas adaptativas podem ser encontradas nos inúmeros projetos já desenvolvidos, cujos resultados mostram uma relação custo-benefício bastante interessante, comparativamente às técnicas mais usuais. Pode-se destacar, entre os vários formalismos adaptativos, as Gramáticas Adaptativas, Redes de Markov Adaptativas, *Statecharts* Adaptativos, Árvores de Decisão Adaptativas e os Dispositivos guiados por Regras Adaptativas, entre outros.

### III. DISPOSITIVO ADAPTATIVO

O dispositivo adaptativo, também denominado dispositivo guiado por regras adaptativo, foi caracterizado por [3] como um sistema cuja operação é definida por um conjunto finito de regras que se automodifica dinamicamente. Este dispositivo adaptativo é definido por duas camadas. A primeira representa o núcleo do sistema, composto por um dispositivo convencional não-adaptativo. A esse núcleo é acrescentado um mecanismo adaptativo, como uma camada externa que se encarrega de atuar no núcleo, modificando a sua estrutura, ou seja, no seu conjunto de regras.

Assim, o dispositivo adaptativo é formado por um núcleo, também chamado de dispositivo subjacente, coberto por uma camada adaptativa, cujos recursos são compostos por ações adaptativas que agem sobre o núcleo quando há alguma interação com o meio externo, dando as características de modificação autônoma (figura 1).



Figura 1 – Estrutura geral de um dispositivo adaptativo

O acréscimo da camada adaptativa confere aos dispositivos adaptativos uma facilidade de uso, uma vez que há a possibilidade de se empregar formalismos já conhecidos e tradicionais, principalmente dispositivos não-adaptativos subjacentes que podem ser completamente descritos por um conjunto finito de regras.

### IV. TABELA DE DECISÃO ADAPTATIVA

As tabelas de decisão tradicionais, geralmente, são usadas como ferramentas que se prestam a auxiliar na descrição de procedimentos de problemas complexos [5]. Elas se mostram mais eficientes do que as formas narrativas, ou escritas, ou na representação de diagramas ou fluxogramas, para a comunicação entre profissionais de várias áreas, sejam

técnicas ou não. Além disso, as tabelas de decisão podem auxiliar na formulação de questões de problemas, nem sempre clara em outras formas. E, pela sua facilidade de uso, as tabelas de decisão podem servir como meio de análise de modelos de decisão e de seus resultados.

Ao usar as tabelas de decisão para modelar processos lógicos e complexos, primeiramente, é necessário identificar quais são as condições existentes no problema e que tipo de ações podem ser tomadas [6]. Em seguida, determinar as regras do problema, ou seja, verificar as possíveis combinações das condições identificadas que resultem na execução das diferentes ações. Essas regras, com as suas condições e ações, são facilmente visualizadas quando organizadas numa tabela de decisão (figura 2).

	Regras					
	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	...	...	...	r <sub>n</sub>
Condição 1						
Condição 2						
...						
Condição m						
Ação 1						
Ação 2						
...						
Ação p						

Figura 2 – Estrutura de uma tabela de decisão convencional

[3] mostra que os dispositivos dirigidos por regras adaptativos podem dar maior flexibilidade às tabelas de decisão, permitindo a inclusão e a exclusão de regras durante a operação do dispositivo, transformando, assim, a tabela de decisão numa ferramenta mais poderosa. Esses resultados podem ser encontrados no trabalho realizado por [7] para simular um autômato adaptativo para reconhecer sentenças de linguagens dependentes de contexto.

Com o objetivo de trazer novas contribuições para a área de Tecnologia Adaptativa, este estudo pretende estender e explorar de maneira mais aprofundada os assuntos relacionados ao modelo de [3].

Uma Tabela de Decisão Adaptativa (TDA) é definida como um dispositivo guiado por regras adaptativo que tem uma tabela de decisão convencional como dispositivo subjacente, acrescida por uma camada composta de ações adaptativas, a qual possibilita mudanças no conjunto de regras da tabela de forma dinâmica.

A estrutura geral de uma TDA é apresentada na figura 3, baseada no formato descrito por [3] e na tabela de decisão convencional [5], [6], com o acréscimo de linhas e colunas para as funções e ações adaptativas.

Informalmente, uma TDA pode ser definida pela dupla: TDA = (TDN, CA), onde TDN representa a tabela de decisão convencional (não-adaptativa) e CA, o mecanismo adaptativo.

A tabela de decisão não-adaptativa é definida por:

TDN = (CT, t<sub>0</sub>, R, C, A), onde:

- CT é o conjunto de todas as configurações possíveis da tabela de decisão;
- t<sub>0</sub> ∈ CT é a configuração inicial da tabela de decisão;

- $R$  é o conjunto de regras de decisão da tabela:  $R = \{ r_j \}$ ,  $1 \leq j \leq n$ ;
- $C$  é o conjunto finito das condições do problema:  $C = \{ C_i \}$ ,  $1 \leq i \leq m$ ;
- $A$  é o conjunto finito de ações possíveis do problema:  $A = \{ A_k \}$ ,  $1 \leq k \leq p$ .

Cada regra  $r_j \in R$  é forma  $r_j = (d_{ij}, X_{kj})$ , onde:

- $d_{ij}$ : representa o conjunto de valores das condições  $C_i$  na regra  $r_j$ ;
- $X_{kj}$ : é o conjunto de valores assinalados para as ações  $A_k$  a serem executadas na regra  $r_j$ .

O mecanismo adaptativo CA para a TDA é definido pelo conjunto de funções adaptativas:

$$FDA = \{ FAD_l \}, 1 \leq l \leq q$$

onde cada função  $FAD_l$  é composta por um conjunto de ações adaptativas:

$$AD = \{ AD_{l,c} \}, 1 \leq l \leq q \text{ e } 1 \leq c \leq o$$

As ações adaptativas  $AD_{l,c}$  são definidas para cada função adaptativa  $FAD_l$  e podem ser executadas antes ou depois das regras não-adaptativas da tabela. Cada ação adaptativa é definida por, pelo menos, uma das ações elementares: consulta às regras da tabela, inclusão de novas regras e exclusão de regras existentes. Pode existir mais de uma ação elementar para cada função adaptativa.

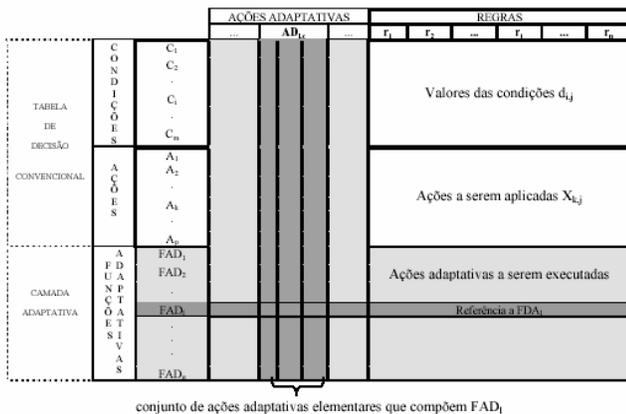


Figura 3 – Estrutura geral da TDA

Além das funções adaptativas, a camada CA possui o conjunto de regras RA composto das regras adaptativas:

$$RA = \{ ra_j \}, 1 \leq j \leq n.$$

Cada regra adaptativa  $ra_j$  é definida por  $(r_j, ba, aa)$ , onde  $r_j$  é a regra não-adaptativa e:

- $ba \in AD_{l,c}$ : se houver, indica ação adaptativa a ser executada antes da regra  $r_j$ ;
- $aa \in AD_{l,c}$ : se houver, indica ação adaptativa que será executada depois da regra  $r_j$ .

#### A. Operação da TDA

Uma vez que as condições e ações de um problema de decisão são identificadas e estruturadas numa tabela de decisão, e suas funções e ações adaptativas, definidas, a

solução do problema pode ser obtida através da execução ou operação da TDA conforme o algoritmo descrito a seguir, de forma simplificada.

De acordo com as condições atuais do problema, procuram-se quais regras satisfazem estas condições na tabela de decisão subjacente:

- se uma única regra se aplica (regra normal, não adaptativa), tem-se uma escolha determinística, então, as ações correspondentes são executadas;
- se mais de uma regra satisfaz, caso de não-determinismo, as ações correspondentes às mesmas devem ser aplicadas em paralelo;
- se nenhuma regra satisfaz, trata-se de condições não previstas, e não há como prosseguir;
- se uma regra se aplica e é uma regra adaptativa, as ações adaptativas são executadas, de acordo com o tipo, antes ou depois da regra normal associada; a execução da regra adaptativa pode, portanto, alterar o conjunto de regras do dispositivo subjacente, mudando, assim, o comportamento do sistema;
- uma vez aplicada a regra, pode-se utilizar novamente a tabela de decisão adaptativa em sua configuração resultante.

## V. TOMADA DE DECISÃO

Problemas complexos com características de tomada de decisão são encontrados nas mais diversas áreas, entre outras, na gestão de negócios, no planejamento estratégico das empresas, nos investimentos, na análise de custos e lucros, em problemas de pesquisa operacional e logística, no controle de tráfego aéreo, nos diagnósticos médicos, nos processos de ensino e aprendizagem, e tantas outras áreas cujos sistemas são dinâmicos e que podem ter comportamento variável ao longo do tempo.

“O estudo da tomada de decisão consiste na identificação e escolha de alternativas com base nos valores e preferências daquele que toma a decisão. Para se tomar uma decisão, escolhas alternativas devem ser consideradas. Assim sendo, desejamos não somente identificar todas as alternativas possíveis, mas também escolher a que melhor se adapta aos nossos alvos, objetivos, valores etc.” [8].

De acordo com [9], uma decisão é uma escolha feita entre duas ou mais alternativas disponíveis. Tomar decisão é o processo de escolha da melhor alternativa para alcançar objetivos.

No processo decisório, o tomador de decisão, seja um indivíduo ou um grupo de pessoas, normalmente deve analisar quais são os objetivos a serem alcançados com as suas ações e a situação que envolve o problema, levando em conta os recursos disponíveis, e a consequência adotada pela decisão [10]. Observa-se também que, geralmente, o processo de tomada de decisão é um processo subjetivo, porque depende do ponto de vista, da percepção e do julgamento do responsável pela decisão. Além disso, tomar decisão é uma

tarefa que requer conhecimento, segurança e coerência do decisor para que a decisão seja confiável.

Com a identificação do problema, no processo de tomada de decisão é importante determinar quais são os critérios que devem ser atendidos por uma solução aceitável para o problema. A solução escolhida é resultado da avaliação de duas ou mais alternativas possíveis que atendam às condições e objetivos do problema [9]. Geralmente, processos decisórios que envolvem múltiplos critérios podem apresentar maior quantidade de alternativas, elevando o nível de complexidade.

Neste texto, os critérios acompanhados de medidas e padrões constituem as condições da tabela de decisão que guiam a escolha da melhor alternativa, e as alternativas são as ações representadas na tabela.

#### A. Métodos de tomada de decisão

Problemas de decisão que têm apenas um único critério são problemas clássicos de otimização, cuja função objetiva é o critério e as limitações são os requisitos das alternativas. Diferentes técnicas de otimização, tais como análise de custo e benefício, programação linear, programação não-linear, entre outras, podem ser utilizadas para achar o valor ótimo. Para problemas de tomada de decisão multicritérios, existem os métodos multicritérios de apoio à decisão, que se caracterizam pela capacidade de incorporar critérios quantitativos e qualitativos e, mais importante, permitem a análise de decisão e testam a sua confiabilidade diante dos julgamentos do decisor [11]. A presente tese trata de aplicações da Tecnologia Adaptativa em sistemas de tomada de decisão multicritérios.

Existe uma variedade de métodos multicritérios e uma multiplicidade de características inerentes a cada um. Por exemplo, alguns são usados para identificar a melhor alternativa de solução, outros para classificar ou categorizar as alternativas, ou para apresentar uma lista de alternativas possíveis para análise subsequente, ou apenas para distinguir aquelas que são aceitáveis das inaceitáveis. São exemplos de métodos multicritérios: AHP (*Analytic Hierarchy Process*), PROMETHE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*), ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), entre outros.

Considerando problemas de tomada de decisão com  $m$  critérios e  $n$  alternativas, representados pelos conjuntos de critérios  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m\}$  e de alternativas  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_n\}$ , os métodos multicritérios, basicamente, utilizam uma matriz de decisão com a disposição dos seus elementos mostrada na figura 4:

Segundo [11], os métodos multicritérios exigem a atribuição de pesos  $w_i$  a cada um dos critérios  $C_i$  do problema, de acordo com o julgamento do decisor. Esses pesos variam de método para método e devem refletir a importância relativa dos critérios da decisão. Em seguida, para cada alternativa  $A_j$ , é feita uma pontuação  $a_{ij}$  para descrever o desempenho da alternativa em relação a cada critério  $C_i$ . A partir desses pesos

e pontuações, cada método associará valores para as alternativas, que são avaliadas para a tomada da decisão.

		$x_1$	...	$x_j$	...	$x_n$
	$A_1$	.	.	.	.	.
$w_1$	$C_1$	$a_{11}$	.	$a_{1j}$	.	$a_{1n}$
.	.	.	.	.	.	.
$w_i$	$C_i$	$a_{i1}$	.	$a_{ij}$	.	$a_{in}$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
$w_m$	$C_m$	$a_{m1}$	.	$a_{mj}$	.	$a_{mn}$

Figura 4 – Matriz de decisão [11]

Os valores  $x_1, \dots, x_j, \dots, x_n$  associados às alternativas da tabela de decisão são determinados nos métodos multicritérios de acordo com a classe a que pertencem. Métodos da classe que tem como base a Teoria da Utilidade de Múltiplos Critérios utilizam funções de utilidade para agregar os pesos  $w_i$  dos critérios às pontuações  $a_{ij}$  e determinar os valores de utilidade  $x_j$  que indicam o desempenho de cada alternativa  $A_j$ . Normalmente, o valor de utilidade mais alto leva a um desempenho melhor da alternativa correspondente [12], o que pode apontar para uma solução do problema ou alternativa de ação.

Outra classe de métodos multicritérios é aquela que se baseia nos Métodos de Sobreclassificação (*Outranking*) ou Categorização, nos quais os valores  $w_i$  e  $a_{ij}$  são usados para determinar a categorização de cada alternativa  $A_j$ . O conceito de categorização foi proposto por [13] e consiste em determinar a preferência de uma alternativa  $A_j$  em relação à alternativa  $A_k$ , ou o nível de concordância ou discordância de uma em relação à outra, levando-se em conta os critérios do problema. Ao contrário dos métodos que usam funções de utilidade que indicam a melhor alternativa, os de categorização determinam um subconjunto de alternativas viáveis, reduzindo o conjunto inicial de alternativas para o problema ou recomendando possíveis ações a serem tomadas.

## VI. APLICAÇÃO DA TDA NA TOMADA DE DECISÃO

A proposta deste trabalho é utilizar o modelo da Tabela de Decisão Adaptativa (TDA) para aplicações de tomada de decisão, nas quais os métodos multicritérios são utilizados como parte dos critérios de decisão implementados na TDA.

Dessa forma, os estudos conduzem ao método adaptativo, cujo processo é constituído pelas etapas:

1. identificar o tipo de problema de tomada de decisão;
2. definir os objetivos do problema;
3. definir os critérios do problema;
4. levantar os requisitos de cada critério;
5. identificar as alternativas;
6. criar a tabela de decisão convencional, identificando o conjunto de regras compostas pelas condições (critérios) e ações (alternativas);
7. a partir da tabela de decisão, o processo decisório pode ser feito estática ou dinamicamente; foi escolhido fazer dinamicamente para caracterizar a aprendizagem; para

isso, o modelo utiliza alguns procedimentos baseados nos métodos de tomada de decisão de múltiplos critérios para:

- a) determinar os pesos  $w_i$ , indicando a importância relativa dos critérios  $C_i$ ;
- b) determinar os valores  $a_{ij}$ , que indicam o desempenho da alternativa  $A_j$  em relação ao critério  $C_i$ , levando-se em conta as regras da tabela criada;
- c) com os valores obtidos nos itens anteriores, criar uma função de utilidade (função matemática) ou usar um método de categorização das alternativas que possibilite ordenar o conjunto de regras;
- d) definir funções e ações adaptativas que permitam modificar o conjunto de regras da tabela de decisão, com a inclusão de novas regras ou exclusão de regras existentes, tendo como base os resultados da função de utilidade ou do método de categorização.

Para validar o modelo proposto da TDA e a estratégia construída, será desenvolvido um protótipo, cujo ambiente deverá proporcionar:

- ao usuário a análise e avaliação do conjunto de regras e das alternativas de solução do problema;
- a busca da melhor solução ou a indicação de um conjunto de soluções possíveis;
- confiabilidade do modelo.

## VII. CONCLUSÃO

Neste trabalho, são apresentados os mecanismos de tabelas de decisão adaptativas, originados pela combinação de tabelas de decisão convencionais com ações adaptativas, e são mostrados como esses dispositivos, pelo seu caráter genérico e com aplicabilidade ampla, podem apoiar a escolha de uma entre as diversas alternativas, diante de critérios estabelecidos a cada ciclo de tomada de decisão.

Deve-se enfatizar que a confiabilidade do modelo adaptativo será alcançada pelo formalismo e rigor matemático que permitirá garantir o seu comportamento e sua robustez, prevenindo ou evitando erros. Dessa maneira, este projeto tem como expectativa trazer contribuições aos aspectos teóricos da Tecnologia Adaptativa e ao incremento de aplicações de soluções adaptativas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PIDD, M., *Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão*. Trad. Gustavo Severo de Borba et al. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- [2] NETO, J. J. *Apresentação do LTA* – Laboratório de Linguagens e Técnicas Adaptativas, 2002. Disponível em: <www.pcs.usp.br/~lta>. Acessado em: 27/01/2004.
- [3] NETO, J. J., *Adaptive Rule-Driven Devices – General Formulation and Case Study*. Lecture Notes in Computer Science. Watson, B.W. and Wood, D. (Eds.): Implementation and Application of Automata 6th International Conference, CIAA 2001, Vol. 2494, Pretoria, South Africa, July 23-25, Springer-Verlag, 2001, pp. 234-250.
- [4] NETO, J. J. *Adaptive automata for context-dependent languages*. ACM SIGPLAN Notices, v. 29, n. 9, p. 115-124, Sep. 1994.
- [5] HUGHES, M. L., SHANK, R. M., STEIN, E. S. *Decision Tables*. Mide Publications, Management Development Institute, Divisions of Information, Industries, Inc., Wayne, Pennsylvania, 1968.
- [6] GILDERSLEEVE, T. R. *Decision Tables and Their Practical Application in Data Processing*. Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1970.
- [7] NETO, J. J. *Adaptive Rule-Driven Devices – General Formulation and Case Study*. Revista de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, São Paulo, v.1, n.1, p. 45-57, nov. 2003.
- [8] HARRIS, R. *Introduction to Decision Making*, VirtualSalt, 1998. <http://www.virtualsalt.com/crebook5.htm> (acessado em 13/10/2005).
- [9] CERTO, S. C., *Modern management: diversity, quality, ethics and the global environment*. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [10] LAUDON, K. e LAUDON, J. *Sistemas de Informação com Internet*. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 389 p.
- [11] FÜLÖP, J. *Introduction to Decision Making Methods*. Laboratory of Operations Research and Decision Systems, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences, 2005.
- [12] KEENEY, R.L. e RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: Performances and Value Trade-Offs*, Wiley, New York, 1976.
- [13] ROY, B. *Classement et choix en présence de points de vue multiple (la méthode Electre)*, RAIRO, 2, 57-75, 1968.

**Angela Hum Tchembra** é bacharel e licenciada em Matemática pela Universidade Presbiteriana Mackenzie e mestre em Administração de Empresas pela mesma universidade. Atualmente, é professora de cursos de graduação na Universidade Presbiteriana Mackenzie, Faculdade de Engenharia São Paulo e Fundação Armando Álvares Penteado. É Doutoranda do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.