

Uma abordagem multicritério para problemas decisórios com múltiplos grupos de avaliadores

André Luís Policani Freitas †
Waldir Andrade Trevizano ‡
Helder Gomes Costa *

† Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Brasil
policani@uenf.br

‡ Faculdade Ubaense Ozanam Coelho, Ubá, Brasil
waldir@fagoc.br

* Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil
hgc@vm.uff.br

Abstract

Nowadays, the occurrence of multicriteria decision problems involving multiple evaluators becomes more and more constant. However, the group of evaluators often has widely different backgrounds, experience, expertise, and even interest to assess the decision problem. In this context, it's obvious that most of the time the evaluators will not be equally qualified to contribute equitably to the decision process. Among the software tools that use MCDA methods, most of them were developed to deal with decision problems involving just a single evaluator. In order to contribute to solve multicriteria decision problems on which multiple evaluators are involved, a computational tool was developed to implement an alternative multicriteria approach which is supported on the foundations of the traditional Analytic Hierarchy Process. To investigate the use of the approach, a case study was conducted in order to identify the most suitable thin-client equipment to fulfill the needs and requirements of a College.

Resumo

Atualmente torna-se cada vez mais constante a ocorrência de problemas decisórios envolvendo múltiplos critérios e múltiplos avaliadores/decisores. Entretanto, observa-se que frequentemente o grupo de avaliadores se diferencia em termos de formação profissional, competência, experiência, e até mesmo de interesse ao tratar um problema decisório. Neste sentido, torna-se evidente que na maioria das vezes tais decisores não estarão equitativamente qualificados para contribuir igualmente na solução do processo decisório. Dentre os softwares que implementam métodos de AMD, a maioria destes foi desenvolvida para tratar problemas decisórios envolvendo apenas um avaliador. Com o

intuito de contribuir para o tratamento de problemas decisórios com múltiplos critérios e avaliadores, desenvolveu-se uma ferramenta computacional a partir de uma abordagem multicritério alternativa, fundamentada nos princípios do método AHP tradicional. Objetivando investigar o emprego dessa abordagem, foi realizado um estudo de caso para identificar o modelo de equipamento *thin client* mais adequado a uma Instituição de Educação Superior.

Keywords: multicriteria. multiple evaluators. group decision. AHP.

Title: A multicriteria approach for decision problems with multiple groups of evaluators.

1 Introdução

Com a evolução da tecnologia, o aumento da complexidade das organizações, e a necessidade cada vez maior de rapidez/agilidade na tomada de decisão, diversas metodologias para auxílio à tomada de decisão e ferramentas computacionais que implementam essas metodologias têm sido desenvolvidas. Além disso, entre as organizações, é cada vez mais comum problemas decisórios serem resolvidos com base no julgamento ou avaliação de mais de um indivíduo ou avaliador, com base em experiências e conhecimentos anteriores dessas pessoas.

Porém, entre as ferramentas computacionais para a utilização de metodologias de Apoio à Decisão Multicritério, existe um número restrito dessas que concebem a existência de múltiplos avaliadores ou julgadores para a tomada de decisão. Mais especificamente, a maioria das ferramentas existentes, com raras exceções, considera apenas o caso do único avaliador.

Com o intuito de contribuir para o preenchimento desta lacuna, este artigo apresenta uma abordagem multicritério para auxílio à tomada de decisão fundamentada no algoritmo do Método da Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process*, AHP) que possa ser utilizada simultaneamente por vários usuários ou decisores. Em especial, uma ferramenta computacional que implementa a referida abordagem foi desenvolvida com este propósito. A escolha do método AHP fundamenta-se pelo fato deste método apresentar um algoritmo relativamente simples de ser implementado computacionalmente, além de ser um dos métodos de auxílio à tomada de decisão sob múltiplos critérios mais utilizados cientificamente em problemas decisórios complexos.

Neste sentido, o presente artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 descreve de forma sucinta alguns aspectos considerados e problemas decisórios com múltiplos avaliadores; a seção 3 descreve brevemente o método AHP, abordando as principais críticas e também alguns aspectos relacionados ao seu uso em problemas de decisão em grupo; a seção 4 apresenta a abordagem multicritério proposta; a seção 5 descreve um estudo de caso realizado para investigar o emprego da abordagem proposta no problema de seleção de um equipamento *thin-client*; e finalmente a seção 6 apresenta as considerações finais.

2 Problemas Decisórios com Múltiplos Avaliadores

Um aspecto desafiador em processos decisórios é o fato de não ser incomum vários indivíduos de uma organização terem que analisar um conjunto de informações ou critérios, para que alguma decisão seja tomada segundo a opinião de cada um deles. Nesses casos, interesses conflitantes poderão surgir, no tocante a avaliação dos critérios,

pois uma característica considerada favorável por um desses avaliadores pode não o ser segundo outro avaliador. Outro fato relevante é que, devido à natureza do problema ou devido à experiência, capacidade ou autoridade dos avaliadores, uma entre as seguintes situações pode ocorrer:

- Todos os avaliadores irão julgar as alternativas sob todos os critérios.
- Uma parcela dos avaliadores julgará as alternativas sob todos os critérios, enquanto que a parcela restante dos avaliadores irá julgar as alternativas à luz apenas de um subconjunto dos critérios.
- Cada avaliador avaliará as alternativas sob apenas um subconjunto de critérios envolvidos.

Além disso, na ocasião da definição da importância relativa dos critérios (ou peso do critério, dependendo do método de auxílio à tomada de decisão considerado) é comum um avaliador atribuir a um critério uma importância diferente de outro avaliador, seja pelo desconhecimento de informações relacionadas ao critério; seja por considerá-lo mais/menos relevante, ou por outro motivo não claramente identificado. Em qualquer dos casos ou situações, é necessário que haja um procedimento ou algoritmo que considere os julgamentos (ou percepções) de cada avaliador em relação às alternativas analisadas à luz de cada critério e, a partir de então, forneça um resultado final para o problema decisório que seja representativo para todos os avaliadores.

3 Breve descrição do Método de Análise Hierárquica (AHP)

Proposto por Saaty no início dos anos 70, o método AHP objetiva a seleção/escolha de alternativas em um processo decisório que considere múltiplos critérios, baseando-se em três princípios:

- **Construção de hierarquias:** De acordo com Saaty (1991), sistemas complexos podem ser melhor compreendidos através do particionamento deste em elementos constituintes, estruturando tais elementos hierarquicamente e então sintetizando os julgamentos da importância relativa destes elementos em cada nível da hierarquia em um conjunto de prioridades. Segundo este princípio, é preciso definir (vide figura 1): o foco principal (o objetivo do problema), os critérios/subcritérios (em tantos níveis quanto necessário), e as alternativas;

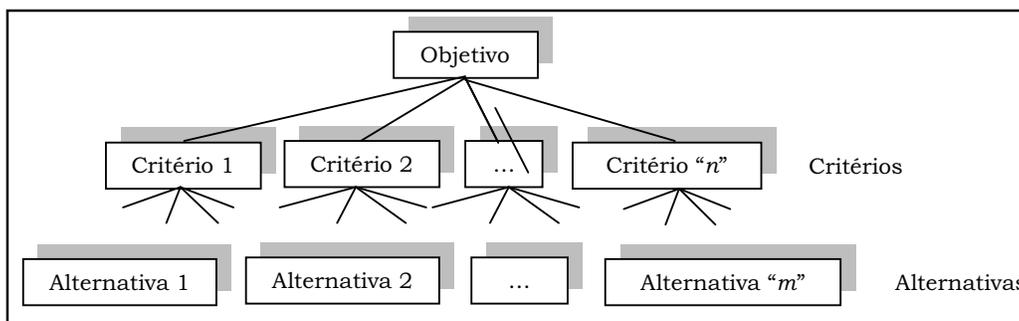


Figura 1: Estrutura Hierárquica Básica

- **Definição de prioridades:** Segundo Saaty (2000), “o ser humano tem a habilidade de perceber as relações entre as coisas que observa, comparar pares de objetos similares à luz de certos critérios, e discriminar entre os membros de um par através do julgamento da intensidade de sua preferência de um elemento sobre o outro”. Segundo Costa (2002), de forma sucinta, neste princípio é necessário cumprir as seguintes etapas:

- julgamentos paritários: julgar par a par os elementos de um nível da hierarquia à luz de cada elemento em conexão em um nível superior, compondo as matrizes de julgamento A (através do uso das escalas apresentadas na tabela 1);

Tabela 1: Escalas de valor para julgamentos paritários (Adaptado de Saaty (2000))

EscaLa Verbal	EscaLa Numérica
Igual preferência (importância)	1
Preferência (importância) fraca	3
Preferência (importância) moderada	5
Preferência (importância) forte	7
Preferência (importância) absoluta	9
2, 4, 6, 8 são associadas a julgamentos intermediários	

A quantidade de julgamentos necessários para a construção de uma matriz de julgamentos genérica A é $n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos pertencentes a esta matriz. Os elementos de A são definidos pelas condições:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde: } \begin{array}{l} a_{ij} > 0 \Rightarrow \text{positiva} \\ a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1 \\ a_{ij} = 1/a_{ji} \Rightarrow \text{recíproca} \\ a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \Rightarrow \text{consistência} \end{array}$$

- normalização das matrizes de julgamento: obtenção de quadros normalizados através da soma dos elementos de cada coluna das matrizes de julgamento e posterior divisão de cada elemento destas matrizes pelo somatório dos valores da respectiva coluna;
- cálculo das prioridades médias locais (PML's): as PML's são as médias das colunas dos quadros normalizados;
- cálculo das prioridades globais: nesta etapa deseja-se identificar um vetor de prioridades global (PG), que armazene a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal.
- **Consistência lógica:** Saaty (2000) afirma que o ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou idéias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência. Assim o método AHP se propõe a calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por $RC = IC/IR$, em que IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e gerada randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é dado por $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$, onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Segundo Saaty (1991) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$.

3.1 Ocorrência da Inversão de Ordem no Emprego do Método AHP

Uma das mais frequentes críticas ao método AHP refere-se à ocorrência da inversão de ordem no emprego do método AHP tradicional, caracterizada pela possibilidade da alteração da ordem das prioridades globais das alternativas devido à remoção de uma alternativa ou introdução de uma nova alternativa ao problema.

Segundo Schoner e Wedley (1989), a inversão de ordem não é decorrente da simples introdução de uma nova alternativa, mas sim da introdução de uma nova alternativa sem a adequada reavaliação dos valores atribuídos aos elementos do nível hierárquico imediatamente superior. Além disso, Gomes, Araya e Carignano (2004) apontam que a ocorrência da inversão de ordem após a inclusão de uma nova alternativa pode ter sido ocasionada por falhas na etapa de modelagem.

Com o intuito de evitar a ocorrência deste problema, foram desenvolvidas três versões para o método AHP: o Método AHP Referenciado, apresentado por Watson e Freeling (1982); o método AHP B-G, proposto por Belton e Gear (1985); e, finalmente, o método AHP Multiplicativo, apresentado por Lootsma (1993). Apesar da relevância deste assunto, a investigação do emprego destes métodos quanto ao tratamento do fenômeno da inversão de ordem não está no escopo deste trabalho.

3.2 Decisão em Grupo Utilizando o Método AHP

Ultimamente problemas decisórios complexos caracterizados pelo envolvimento de múltiplos avaliadores/decisores têm se tornado objeto de pesquisa no âmbito do Auxílio Multicritério à Decisão. Segundo Van Den Honert (2001), frequentemente no grupo de decisores existe grande diferença em termos de formação profissional, competência e experiência no âmbito de um problema decisório. Além disso, nem todos os decisores têm o mesmo interesse na análise do problema, os critérios podem ser variados e essencialmente técnicos (decisores podem não estar habilitados a julgar à luz destes critérios), tornando evidente que os decisores não estão equitativamente qualificados para contribuir igualmente no processo decisório.

Quando os membros dos grupos possuem os mesmos objetivos, Dyer e Forman (1999) relatam que o AHP pode ser utilizado em quatro contextos:

- **Consenso:** se os membros do grupo têm (basicamente) os mesmos objetivos, é aconselhável que os estes se reúnam e se esforcem para obter o consenso na estruturação do problema e nos julgamentos da importância relativa dos critérios e das alternativas;
- **Votação:** se o consenso não puder ser obtido em determinada situação, então o grupo pode realizar uma votação para escolher um julgamento intermediário;
- **Uso de média geométrica:** se o consenso não puder ser obtido e os membros não desejarem realizar uma votação, a média geométrica dos julgamentos dos membros pode ser calculada. Aczel e Saaty (1983) demonstraram que, quando a mesma importância é atribuída a todos avaliadores pertencentes a um grupo, o uso da média geométrica é a forma mais apropriada para sintetizar os julgamentos emitidos pelos diversos avaliadores.
- **Modelos Distintos ou Avaliadores:** se os membros do grupo têm objetivos (ou pontos de vista) muito divergentes ou não podem se encontrar para discutir a decisão, cada membro do grupo (ou subgrupo) pode emitir seus julgamentos separadamente. Os julgamentos de cada membro podem ser obtidos por:
 - **Modelos distintos:** neste processo, cada membro do grupo atribui seus julgamentos em um modelo distinto (as prioridades resultantes podem ser obtidas pelo cálculo da média); e
 - **Avaliadores:** na estrutura hierárquica é construído um “nível de avaliadores” abaixo do nível do objetivo principal. Os critérios e subcritérios são alocados em um nível abaixo do respectivo membro do grupo (avaliador). Os critérios (e subcritérios) não necessariamente devem ser os mesmos para todos os avaliadores. Neste processo, atenção especial deve ser dada à atribuição de importância para cada avaliador – é usual atribuir a mesma importância a todos os membros ou utilizar julgamentos paritários para obter a importância relativa entre os membros.

Ramanathan e Ganesh (1994) propuseram a determinação da importância relativa dos membros do grupo por meio de comparações paritárias interpessoais da importância ou influência entre os membros do grupo (onde importância ou influência pode ser mensurada através de critérios como poder, experiência, habilidade de tumultuar, etc.) através da opinião de cada membro do grupo, utilizando o método AHP tradicional. Entretanto, segundo Van Den Honert (2001), este procedimento pode causar um desvio no processo decisório visto que há uma tendência de um indivíduo superestimar sua própria importância, especialmente se existe algo a ser ganho por ele.

Lootsma (1993) propôs o método AHP multiplicativo que buscava superar os seguintes pontos críticos identificados no método AHP tradicional: a escala de julgamentos de valor proposta por Saaty (1991) para quantificar os juízos humanos; o uso do autovetor para calcular a prioridade das alternativas, e as prioridades globais calculados por uma regra de média aritmética de agregação (Lootsma argumentou que a escala proposta por ele possui um espectro mais amplo que a escala proposta por Saaty, pois esta última não é uma escala geométrica nem aritmética e, portanto, os valores recíprocos propostos por Saaty poderiam produzir uma inconsistência que não está presente na mente do decisor).

Além disso, caso os pesos específicos associados ao poder de decisão dos decisores sejam conhecidos, o método AHP multiplicativo permite a incorporação dos julgamentos dos decisores, através de uma formulação específica que utiliza a média geométrica.

4 A Abordagem Multicritério Proposta

Nesta seção apresenta-se a abordagem multicritério proposta para análise de problemas decisórios em que múltiplos grupos de avaliadores devem ser considerados. A seguir é apresentada uma breve descrição do problema e as etapas que constituem a abordagem.

4.1 Descrição do Problema

Seja um problema decisório em que m alternativas a_i , $i = 1, 2, \dots, m$ (a_1, a_2, \dots, a_m) deverão ser avaliadas à luz de n critérios g_j , $j = 1, 2, \dots, n$ (g_1, g_2, \dots, g_n), segundo a percepção de diversos avaliadores agrupados em t grupos de avaliação G_p , $p = 1, \dots, t$ (G_1, \dots, G_t). Cada avaliador será denotado por E_{pq} (o índice pq refere-se ao q -ésimo avaliador do p -ésimo grupo de avaliadores). A figura 2 ilustra a estrutura hierárquica referente a este problema.

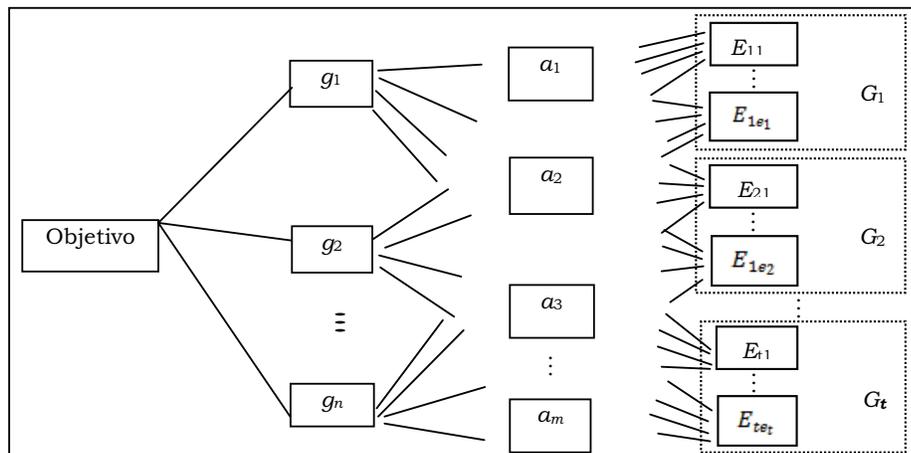


Figura 2: Hierarquia de problema decisório com múltiplos grupos de avaliadores (Trevizano, 2007)

4.2 Estruturação da Abordagem Proposta

Nesta seção são apresentadas as etapas para a modelagem e análise do problema decisório. Essas etapas devem ser executadas e/ou coordenadas por um ator aqui denominado 'Administrador', visto que cada uma delas envolve todo o processo decisório em questão.

4.2.1 Cálculo da Importância Relativa dos Grupos de Avaliadores

A cada grupo de avaliadores deve ser atribuído um peso ou importância relativa WG_p ($p = 1, \dots, t$). Para esta atribuição, recomenda-se a realização de julgamentos diretos ou o emprego do procedimento de priorização do método AHP (para a determinação da prioridade dos grupos de avaliadores na solução do problema, por exemplo, podem ser considerados como critérios: a responsabilidade (influência) do grupo, a capacidade técnica do grupo, o impacto do grupo na decisão). Em ambas as situações, satisfazer a seguinte condição:

$$WG_1 + WG_2 + \dots + WG_t = 1 \quad (1)$$

4.2.2 Cálculo da Importância Relativa dos Membros de Cada Grupo de Avaliadores

Cada grupo G de avaliadores estará vinculado a um número e_p de avaliadores. A cada avaliador denotado por E_{pq} (o índice pq refere-se ao q -ésimo avaliador do p -ésimo grupo de avaliadores) deve-se atribuir um peso ou importância relativa denotada por WE_{pq} . Esses valores de peso ou importância relativa devem ser tais que o somatório dos diversos pesos ou importâncias seja 1. A tabela 2 apresenta as relações que devem ser satisfeitas.

Tabela 2: Distribuição de avaliadores e pesos nos grupos de avaliação.

Grupo	Total de Avaliadores	Avaliadores do Grupo	Σ dos Pesos dos avaliadores
G_1	e_1	$E_{11}, E_{12}, \dots, E_{1e_1}$	$WE_{11} + WE_{12} + \dots + WE_{1e_1} = 1$
G_2	e_2	$E_{21}, E_{22}, \dots, E_{2e_2}$	$WE_{21} + WE_{22} + \dots + WE_{2e_2} = 1$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
G_t	e_t	$E_{t1}, E_{t2}, \dots, E_{te_t}$	$WE_{t1} + WE_{t2} + \dots + WE_{te_t} = 1$
Σ	$e_1 + e_2 + \dots + e_t = k$		

4.2.3 Definição dos Subconjuntos de Critérios

De acordo com a modelagem do problema decisório, os critérios e subcritérios precisam ser definidos de acordo com a natureza do problema. Para efeito de estruturação, o 'Administrador' irá definir os critérios e sub-critérios à luz dos quais cada Grupo de avaliadores deverá avaliar as alternativas. Estes critérios devem ser relevantes à natureza do problema e podem ser obtidos, por exemplo, através de pesquisa na literatura técnico-científica do problema em questão. O índice n_p indica a quantidade de critérios a ser considerada pelo p -ésimo grupo de avaliadores ($p = 1, \dots, t$). Esta etapa torna-se importante principalmente em problemas decisórios complexos em que alguns dos

critérios devem ser preferencialmente avaliados por especialistas ou *experts* em áreas específicas do conhecimento, pois tais indivíduos terão uma capacidade maior de julgar as alternativas em relação a tais critérios. A tabela 3 ilustra esta questão.

Tabela 3: Distribuição dos critérios a serem julgados pelos grupos de avaliação.

Grupo	Total de Critérios Julgados por cada Grupo	Critérios Julgados por cada Grupo
G_1	$n_1 \quad (n_1 \leq n)$	$g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1n_1}$
G_2	$n_2 \quad (n_2 \leq n)$	$g_{21}, g_{22}, \dots, g_{2n_2}$
\vdots	\vdots	\vdots
G_t	$n_t \quad (n_t \leq n)$	$g_{t1}, g_{t2}, \dots, g_{tn_t}$

4.2.4 Cálculo da Importância Relativa dos Critérios

Inicialmente o 'Administrador' deverá, usando a metodologia AHP, avaliar paritariamente todos os critérios, estabelecendo para cada um deles a sua importância relativa ou prioridade, denotadas por Wg_j ($j = 1, 2, \dots, n$). Esses valores devem ser distribuídos de forma tal que para cada nível da hierarquia de critérios o somatório das prioridades seja 1, bem como nos ramos superiores que estiverem no mesmo nível. Os valores obtidos serão então repassados aos grupos de avaliação e seus respectivos avaliadores. Nesta etapa podem ser identificadas três situações:

- Todos os avaliadores concordam com os valores das importâncias relativas dos critérios atribuídos pelo Administrador: neste caso, todos os valores são mantidos na análise.
- Cada avaliador poderá, por percepções pessoais, definir que a prioridade de um determinado critério em relação a outro deve ser modificada (critérios de sua competência de julgamento). Ele poderá alterar tais valores, respeitando a restrição para o somatório dos critérios permanecer 1, ou seja, um incremento no valor de prioridade de um dos critérios deve significar automaticamente um decremento nos valores dos outros critérios.
- Se porventura for definido que um determinado grupo não deva ou que seus membros não desejem julgar alguns dos critérios, os valores de prioridades do ramo da árvore de critérios que estiver incompleta, por nela existirem critérios que não serão julgados, devem ser reajustados, para que o somatório das prioridades dos critérios restantes permaneça com o valor 1. O reajuste dos valores das prioridades deve ser proporcional, para que os critérios restantes mantenham entre si a mesma importância relativa. Para reajustar os valores das prioridades, divide-se o valor da prioridade pela soma dos valores restantes.

Por exemplo, sejam g_1 , g_2 e g_3 critérios de um ramo da árvore de critérios a serem julgados, cada um com sua importância relativa, tal que $Wg_1 + Wg_2 + Wg_3 = 1$. Supondo que um Grupo de avaliadores decida não avaliar as alternativas à luz do critério g_1 . A importância relativa deste critério (Wg_1) será desconsiderada e as novas importâncias relativas dos critérios remanescentes serão calculadas respectivamente pelas expressões:

$$\begin{cases} Wg_2^* = Wg_2 / (Wg_2 + Wg_3) \\ Wg_3^* = Wg_3 / (Wg_2 + Wg_3) \\ Wg_2^* + Wg_3^* = 1 \end{cases} \quad (2)$$

4.2.5 Cálculo das Prioridades Médias de Cada Alternativa

Nesta etapa, cada avaliador de cada grupo irá, aplicando a metodologia AHP, julgar as alternativas do problema decisório e assim calcular as Prioridades Médias Locais (PML's) de cada alternativa à luz de cada critério. Ou seja, cada um dos avaliadores irá, para cada um dos critérios que estiver encarregado de avaliar:

- Definir uma matriz quadrada para cada critério sob o qual as alternativas deverão ser avaliadas, e julgar paritariamente as alternativas considerando a escala de valores definida por Saaty (1991).
- Normalizar a matriz de julgamentos obtida.
- Obter a PML de cada alternativa referente ao critério em questão, através do cálculo da média das colunas da matriz normalizada.
- Verificar a consistência dos julgamentos (procedimento definido por Saaty (1991)).

4.2.6 Cálculo das Prioridades Globais de Cada Alternativa

Após a obtenção das Prioridades Médias Locais de cada alternativa à luz de cada critério, essas prioridades devem ser agregadas para constituir a Prioridade Global (PG) de cada alternativa. Conforme reportado anteriormente, Aczel e Saaty (1983) demonstraram que, quando a mesma importância é atribuída a todos avaliadores pertencentes a um grupo, o uso da média geométrica é a forma mais apropriada para sintetizar os julgamentos emitidos pelos diversos avaliadores. Os autores do presente artigo reconhecem essa propriedade, mas utilizam como procedimento de agregação dos julgamentos a média aritmética ponderada, ressalvando-se o fato de que em raras situações todos os avaliadores pertencentes a um mesmo grupo possuem o mesmo grau de importância. Ressalta-se também que ainda não há evidências e comprovações científicas que demonstrem que o uso da média aritmética ponderada não seja adequada para este tipo de problema. Neste contexto, são definidas:

- **Prioridade Global de uma alternativa segundo os julgamentos de cada avaliador:** considerando os julgamentos de um avaliador E_{pq} (q -ésimo avaliador pertencente ao p -ésimo Grupo de avaliadores) a Prioridade Global de uma alternativa genérica a_i , denotada por $PG(a_i)_{E_{pq}}$, será obtida pela expressão:

$$PG(a_i)_{E_{pq}} = \sum_{j=1}^{n_p} (Wg_j \cdot PML(a_i)_{g_j})_{E_{pq}} \quad (3)$$

onde:

- Wg_j é a importância relativa do critério g_j segundo a percepção do avaliador E_{pq} ;
 - $PML(a_i)_{g_j}$ é a Prioridade Média Local da alternativa a_i à luz do critério g_j , segundo a percepção do avaliador E_{pq} .
 - n_p é o número de critérios a serem utilizados pelo E_{pq} na avaliação das alternativas.
- **Prioridade Global de uma alternativa segundo um Grupo de avaliadores:** considerando os julgamentos de todos os avaliadores E_{pq} pertencentes de um determinado Grupo de avaliadores G_p , a Prioridade Global de uma alternativa genérica a_i , denotada por $PG(a_i)_{G_p}$, será obtida conforme a equação 4 a seguir:

$$PG(a_i)_{G_p} = \sum_{q=1}^{e_p} WE_{pq} \cdot PG(a_i)_{E_{pq}} \quad (4)$$

onde:

- WE_{pq} é a importância relativa do avaliador E_{pq} ;
 - e_p é o número de avaliadores pertencentes ao Grupo p .
- **Prioridade Global Total de uma alternativa:** considerando os julgamentos de todos os avaliadores E_{pq} pertencentes a cada um dos Grupos de avaliadores G_p ($p = 1, \dots, t$), a Prioridade Global Total de uma alternativa genérica a_i , denotada por $PG(a_i)_{Total}$, será obtida pela expressão 5:

$$PG(a_i)_{Total} = \sum_{p=1}^t WG_p \cdot PG(a_i)_{G_p} \quad (5)$$

onde:

- WG_p é a importância relativa do Grupo de avaliadores G_p ;
- t é o número de Grupos de avaliadores;

5 Estudo de Caso

Com o intuito de investigar a abordagem proposta e a ferramenta computacional desenvolvida para o tratamento de problemas decisórios envolvendo múltiplos critérios e múltiplos avaliadores, apresenta-se um estudo de caso realizado em uma Faculdade.

5.1 O Problema

Em instituições de ensino, principalmente a nível técnico e superior, a utilização de computadores nas atividades acadêmicas é hoje algo fundamental. Para atender à necessidade de prover aos alunos e professores recursos de informática, a Faculdade Ubaense Ozanam Coelho (FAGOC), localizada no município de Ubá (Estado de Minas Gerais, Brasil), montou três laboratórios com vários equipamentos ligados em rede, com acesso à Internet, e mais os *softwares* necessários para as aulas e outras atividades que possam ser necessários pelos alunos e/ou professores da instituição.

Entretanto, alguns problemas ocorreram durante o período de utilização, dentre os quais se destacam: caso um professor necessitasse utilizar um aplicativo para sua disciplina, mas que ainda não estava instalado, tornava-se necessário acionar os responsáveis pela manutenção com antecedência, para que estes pudessem providenciar a instalação do aplicativo nas máquinas necessárias (em certas situações, ocorria a situação desagradável do aplicativo não ter sido instalado em todos os equipamentos necessários). Outro problema comum ocorria quando alunos salvavam documentos em um determinado computador e na aula seguinte não conseguiam acessá-los porque por algum motivo não estavam acessando o mesmo computador utilizado anteriormente. Neste sentido, evidenciou-se a necessidade de solucionar tais situações, de forma a eliminar a dependência de um equipamento específico, e minimizar o esforço necessário para a instalação de novos aplicativos.

5.2 A Solução *Thin-client*

Nos primórdios da computação, antes da existência dos microcomputadores, mas já com o advento dos sistemas computacionais multiusuários, as empresas informatizadas possuíam um computador de porte médio (minicomputador) a grande porte (mainframe), e os diversos usuários desse computador a ele se conectavam usando terminais de vídeo (equipamentos providos de monitor de vídeo e teclado, conectados ao computador principal). Os terminais não possuíam capacidade de processamento, apenas enviavam o que era digitado ao computador central, e dele recebiam as informações, que eram exibidas na sua tela (por este motivo eram conhecidos pelo termo ‘terminais burros’). Os aplicativos, portanto, rodavam no computador central e, pelo sistema de compartilhamento de tempo, vários aplicativos podiam ser executados concomitantemente (embora na prática o processador do computador reserve milissegundos do seu tempo para cada aplicativo sendo executado). Cada usuário, desta forma, tinham a impressão de ter o computador apenas para si, visto que o tempo de resposta, do ponto de vista humano, normalmente é considerado aceitável ou bom. Não se utilizava interface gráfica, sendo toda a interface com o usuário em modo texto.

Com a chegada dos microcomputadores, e posteriormente as interfaces gráficas, o uso do terminal de vídeo com interface textual chegou ao fim, pois os usuários se tornaram mais exigentes com relação à interface. Dessa forma, passou a prevalecer o modelo de um computador para cada usuário (muitas vezes ligados em rede), que conduz às situações descritas na seção 5.1.

Surge então o conceito de ‘terminal magro’, ou *thin-client*, como é mais conhecido. É um equipamento que normalmente não possui unidade de disco para armazenamento de dados, com armazenamento local feito em memória tipo *flash*, possuindo processadores (normalmente menos poderosos do que os utilizados microcomputadores tradicionais), memória, interface de rede e portas USB para conexão de periféricos. Em geral o *thin-client* não possui também ventiladores ou outro dispositivo mecânico, o que os leva a menor incidência de defeitos. Segundo Sposito (2007), o *thin-client* foi concebido para utilização em uma arquitetura centralizada, onde as aplicações voltam a ser executadas em um equipamento central denominado servidor, compartilhado por todos os usuários, conforme os antigos ‘terminais burros’. Porém, um fator que os diferencia é a interface, pois ao invés de interface textual, o *thin-client* utiliza sistemas operacionais com interface gráfica, como Linux ou Windows XP.

Neste sentido, foi proposta como solução dos problemas de gerenciamento dos laboratórios de informática da FAGOC a substituição dos microcomputadores existentes pelo modelo *thin-client*, e dessa forma os dados passam a ser armazenados em um equipamento servidor central, assim como todos os aplicativos instalados e executados nesse servidor. Dessa forma, o usuário (aluno/professor) executa suas tarefas e projetos em qualquer equipamento disponível, e a instalação de novos softwares passa a ser centralizada em um único ponto.

Existindo vários modelos de equipamentos *thin-client* no mercado brasileiro, surgiu a necessidade de se avaliar qual o equipamento que melhor atenderia às necessidades da FAGOC.

5.3 Definição do conjunto de alternativas (Equipamentos)

Para determinar qual equipamento deveria ser adquirido, considerou-se que este deveria ser capaz de carregar o sistema operacional pela rede, buscando-o no servidor. Após pré-seleção de equipamentos com tal característica, considerou-se para avaliação os seguintes equipamentos: a_1 (*Tecnoworld Winbox CE*), a_2 (*Connec EZ800*) e a_3 (*Wyse 1125SE*).

5.4 Definição do conjunto de critérios

Para a seleção do equipamento, foram definidos critérios comerciais, técnicos e adicionais. Uma breve descrição dos critérios é apresentada na tabela 4. Tais critérios, após devidamente divididos em subcritérios, constituíram a estrutura hierárquica ilustrada na figura 3.

Tabela 4: Critérios considerados na avaliação

Critérios Comerciais
<p>Custo: critérios financeiros de julgamento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valor unitário: preço de cada equipamento, por unidade • Forma de pagamento: como o equipamento pode ser adquirido • Manutenção mensal: previsão do custo mensal com reparos e manutenção, por equipamento.
<p>Usuários do equipamento: informações sobre usuários do equipamento em outras empresas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Satisfação: grau de satisfação dos usuários de outras empresas com o equipamento • Estimativa numérica: número aproximado de usuários no Brasil que utilizam o equipamento.
<p>Garantia: Condições de garantia do equipamento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prazo: tempo previsto de garantia do equipamento • Tempo de depreciação: tempo previsto para o equipamento ter seu valor depreciado.
Critérios Técnicos
<p>Software: Característica relacionada ao uso do equipamento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boot do sistema: se o equipamento já inicializa sistema operacional a partir do servidor ou precisa de módulo adicional.
<p>Hardware: características físicas do equipamento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rede: Propriedades para a conexão em rede (fundamental neste tipo de equipamento). <ul style="list-style-type: none"> - Velocidade: taxa de transferência de dados máxima possível de se obter na rede. - Sem fio: se o equipamento permite interligação em redes sem fio. • Computador: Características do equipamento relativas ao processamento de dados em si. <ul style="list-style-type: none"> - Processador: tipo e velocidade do processador da unidade. - Memória flash: capacidade de armazenamento de sua memória flash, de longo prazo (mantém informações na ausência de energia elétrica). - Memória RAM: capacidade de armazenamento de sua memória RAM, de curto prazo (informações são perdidas na ausência de energia elétrica). • Portas: Conectores disponíveis para conexão de periféricos externos (além de monitor, mouse e teclado). <ul style="list-style-type: none"> - USB: número de portas USB disponíveis. - Paralela: se possui porta paralela, para conexão de impressora local. • Vídeo: Características de exibição gráfica do equipamento. <ul style="list-style-type: none"> - Resolução: capacidade gráfica do vídeo do equipamento, em número de pontos. - Cores: número de cores possível. • Áudio: Conectores para processamento multimídia de áudio <ul style="list-style-type: none"> - Entrada: se existe entrada de sinal de áudio - Saída: se existe saída de áudio externa.
Critérios Adicionais
<p>Design: o “estilo” do equipamento</p>
<p>Consumo: a quantidade de KW/hora de energia elétrica demandados.</p>
<p>Tamanho: o tamanho físico do equipamento.</p>

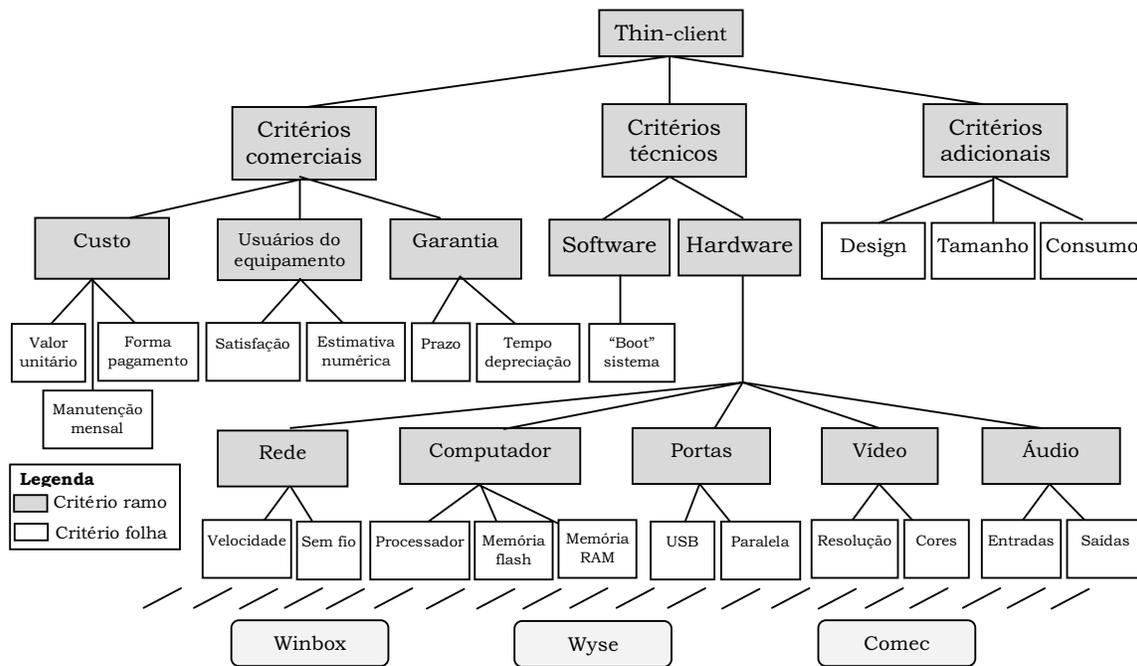


Figura 3: Hierarquia do problema de escolha de um equipamento *thin-client* (Trevizano, 2007)

5.5 Definição do Administrador e dos Grupos de Avaliadores

Como ‘Administrador’ foi escolhido Rodrigo Leite Gomide, por ser encarregado do setor de TI e por estar à frente do processo de definição dos equipamentos. As alternativas foram avaliadas por profissionais das áreas técnica, administrativa e pedagógica, cada uma delas avaliando as alternativas à luz dos critérios dentro de sua esfera de conhecimento e responsabilidade. A tabela 5 sintetiza os pesos atribuídos a cada Grupo de Avaliação e a cada avaliador, além dos critérios de competência de cada Grupo.

Tabela 5: Grupos de avaliação para escolha de um equipamento “*thin-client*”.

Grupo de avaliação	Peso do Grupo	Avaliadores de cada Grupo	Peso	Critérios
Equipe técnica	0,35	Rodrigo Gomide (gerente/setor de TI)	0,40	Computador, Rede, Portas, Vídeo, Áudio, Software, Adicionais
		Renato Franco (Prof./Ciência da Computação)	0,30	
		Domingos Souza (funcionário/setor de TI)	0,15	
		Felipe Carneiro (funcionário/setor de TI)	0,15	
Equipe comercial	0,40	Clécio Giorne (diretor administrativo/financeiro)	0,80	Custo, Garantia, Usuários, Adicionais
		Ricardo Santana (tesoureiro da IES)	0,20	
Equipe didática	0,25	Marcelo Andrade (diretor geral da IES)	0,60	Software, Adicionais (sem consumo), Vídeo, Áudio, Usuários
		Clayton Fraga (coordenador/Ciência da Computação)	0,40	

5.6 Definição da Importância Relativa dos Critérios

Conforme a abordagem proposta, coube ao Administrador definir os pesos relativos de cada critério na árvore de critérios. Para isso, o Administrador, usando a própria metodologia AHP, julgou cada critério à luz do critério imediatamente superior da árvore de critérios. A tabela 6 apresenta as prioridades obtidas (PML's), que neste caso representam a importância relativa dos critérios, e também os valores da Razão de Consistência de cada matriz de julgamentos (os quadros de julgamentos podem ser obtidos com os autores deste trabalho).

Vale ressaltar que a ferramenta computacional desenvolvida permite que os avaliadores alterem os valores da importância dos critérios, caso seja de interesse. Entretanto, neste estudo, todos os avaliadores concordaram com as importâncias definidas pelo administrador.

Tabela 6: Prioridades Médias Locais/Importância relativa dos critérios.

Selecionar equipamentos	PML's	Critérios comerciais	PML's	Critérios técnicos	PML's	Critérios adicionais	PML's		
Crit. comerciais	0,6328	Custo	0,7235	Software	0,1667	Design	0,4286		
Crit. técnicos	0,1749	Usuários	0,0833	Hardware	0,8333	Tamanho	0,4286		
Crit adicionais	0,1924	Garantia	0,1932	----	----	Consumo	0,1428		
RC = 0,009		RC = 0,063		RC = 0,000		RC = 0,000			
Custo	PML's	Usuários	PML's	Garantia	PML's	Software	PML's	Hardware	PML's
Valor unitário	0,6232	Satisfação	0,5000	Prazo	0,8000	"Boot"	1,000	Rede	0,2810
Forma pagam.	0,2395	Estimativa	0,5000	Tempo deprec	0,2000	----	----	Computador	0,4783
Man. mensal	0,1373	----	----	----	----	----	----	Portas	0,1145
----	----	----	----	----	----	----	----	Vídeo	0,0836
----	----	----	----	----	----	----	----	Áudio	0,0426
RC = 0,0180		RC = 0,000		RC = 0,000		RC = 0,000		RC = 0,0520	
Rede	PML's	Computador	PML's	Portas	PML's	Vídeo	PML's	Áudio	PML's
Velocidade	0,7500	Processador	0,200	USB	0,7500	Resolução	0,6667	Entradas	0,5000
Rede s/ fio	0,2500	Mem. RAM	0,400	Paralela	0,2500	Cores	0,3333	Saídas	0,5000
----	----	Mem. Flash	0,400	----	----	----	----	----	-----
RC = 0,000		RC = 0,000		RC = 0,000		RC = 0,000		RC = 0,000	

5.7 Avaliação das Alternativas à Luz dos Critérios

Cada avaliador acessou o módulo de avaliação do software e atribuiu seus julgamentos de valor a cada alternativa à luz dos critérios definidos para o seu grupo de avaliação. No processo de julgamento, notou-se que alguns dos avaliadores, pelo desconhecimento da metodologia AHP, manifestaram dúvidas sobre a forma de efetuar os julgamentos. Uma breve explicação sobre o processo de julgamentos e, particularmente sobre a escala de avaliação definida por Saaty (1991). As dúvidas foram esclarecidas e os julgamentos foram efetuados.

5.8 Resultados Apresentados aos Avaliadores

Após avaliar as alternativas à luz de determinado critério, o *software* fornece ao avaliador a ordenação das alternativas à luz desse critério e o valor da Razão de Consistência da Matriz de Julgamentos. Concluído o julgamento das alternativas à luz de todos os critérios de sua responsabilidade, é fornecida a ordenação final das alternativas (Prioridades Globais) segundo sua percepção. A tabela 7 apresenta os resultados provenientes de alguns julgamentos do avaliador Renato Franco. A última coluna apresenta o vetor das Prioridades Globais e revela que a alternativa de maior prioridade para este avaliador é o equipamento a_3 (1125SE).

Tabela 7: Exemplo de resultados apresentados aos avaliadores

Design (Renato)	Winbox CE	EZ800	1125SE	PML's	Tamanho (Renato)	PML's	Consumo (Renato)	PML's	Final (Renato)	PG
Winbox CE	1	2	1/3	0,2518	Winbox CE	0,4286	Winbox CE	0,1149	Winbox CE	0,3071
EZ800	1/2	1	1/3	0,1593	EZ800	0,1428	EZ800	0,1822	EZ800	0,2912
1125SE	3	3	1	0,5889	1125SE	0,4286	1125SE	0,7028	1125SE	0,4017
RC = 0,052					RC = 0,000		RC = 0,052			

5.9 Resultados Apresentados ao Administrador

Após os avaliadores de todos os Grupos de avaliação terem efetuado os seus julgamentos, o Administrador teve disponível diversos resultados que puderam auxiliá-lo no processo de tomada de decisão. Mais especificamente, esses resultados se referiam à:

- Verificação dos pesos atribuídos a cada avaliador e a cada Grupo de Avaliadores;
- Prioridade Global das alternativas segundo a percepção de cada avaliador;
- Prioridade Global das alternativas segundo a percepção de cada Grupo de Avaliadores; e
- Prioridade Global das alternativas no problema decisório.

É importante ressaltar que o 'Administrador' também pode ter acesso aos resultados oriundos dos julgamentos efetuados por cada avaliador, caso seja do seu interesse. Tais resultados referem-se aos valores atribuídos nas Matrizes de Julgamentos, os vetores de Prioridades Médias Locais referentes a cada critério, as Razões de Consistência, dentre outros. Procedendo desta forma, o 'Administrador' tem acesso à análise de todo o processo decisório.

Considerando o presente estudo de caso, a tabela 8 apresenta os resultados obtidos. Nesta tabela é possível constatar que o equipamento Winbox CE obteve a melhor ordenação final, depois de considerada as percepções de todos os avaliadores do estudo de caso (vide ultima coluna desta tabela). É importante notar que não houve um consenso entre os avaliadores do grupo 'Equipe Técnica'. Nesta condição, a importância dos julgamentos de cada avaliador é crucial para o resultado final do grupo.

No âmbito do foco principal do problema em questão – seleção do equipamento *thin client* – é importante constatar que o equipamento Winbox CE foi considerado como a melhor opção dentre os modelos utilizados, segundo a percepção de cada Grupo de avaliadores. Em termos gerenciais, este resultado representa a concordância entre os três Grupos envolvidos no uso do equipamento: 'Equipe comercial (Grupo de compradores)', 'Equipe Técnica (Grupo de instalação/suporte)' e 'Equipe Didática (Grupo de usuários)'.

Vale destacar que não é raro haver preferências divergentes entre grupos de avaliadores em problemas desta natureza. Nestas situações específicas, os resultados das

análises são apresentados ao decisor, cabendo-lhe acatar ou não o resultado obtido. No estudo em questão, todos os resultados foram apresentados aos avaliadores e o equipamento Winbox CE realmente foi adquirido pela FAGOC.

Tabela 8: Resultado da avaliação para os grupos

Alternativas	Resultados do grupo 'Equipe Técnica' (peso = 0,35)					GRUPO PG		
	Domingos (peso = 0,15) PG	Felipe (peso = 0,15) PG	Renato (peso = 0,30) PG	Rodrigo (peso = 0,40) PG				
Winbox CE	0,454	0,352	0,307	0,508	0,416			
EZ800	0,284	0,411	0,291	0,250	0,292			
1125SE	0,262	0,236	0,402	0,242	0,292			
Alternativas	Resultados do grupo 'Equipe Comercial' (peso = 0,40)			Resultados do grupo 'Equipe Didática' (peso = 0,25)			Final	
	Clécio (peso = 0,80) PG	Ricardo (peso = 0,20) PG	GRUPO PG	Clayton (peso = 0,40) PG	Marcelo (peso = 0,60) PG	GRUPO PG		
Winbox CE	0,540	0,619	0,556	0,452	0,423	0,435	0,477	
EZ800	0,186	0,152	0,179	0,253	0,244	0,248	0,236	
1125SE	0,274	0,229	0,265	0,295	0,333	0,318	0,288	

6 Considerações Finais

Nos tempos atuais, é cada vez mais constante a ocorrência de problemas decisórios onde múltiplos critérios devem ser considerados e múltiplos avaliadores estão envolvidos, sendo que esses avaliadores podem possuir graus diversos de conhecimento em relação ao problema a ser analisado. Desta forma, a definição de avaliadores/decisores (grupos de avaliadores/decisores) mais adequados ao tratamento do problema decisório em termos de formação (*background*), experiência e competência (*expertise*), e também da definição correta do escopo de critérios a serem julgados por cada avaliador, dentro de sua área de competência, além de contribuir para uma análise decisória mais coerente e precisa, também contribui para atenuação de uma das críticas mais frequentes ao emprego do método AHP: a elevada quantidade de julgamentos paritários a ser efetuada por cada avaliador/decisor em problemas decisórios de grande porte.

Com o intuito de contribuir para o tratamento de problemas decisórios onde múltiplos critérios e múltiplos avaliadores estão envolvidos, este artigo apresentou uma abordagem multicritério alternativa, fundamentada nos princípios do método AHP. Em especial, esta abordagem buscou realçar e ao mesmo tempo incorporar cientificamente a questão da definição da relevância ou importância atribuída a cada avaliador (ou grupo de avaliadores) em problemas decisórios. A partir desta abordagem, estimula-se que critérios como formação, experiência, competência, e até mesmo o poder sejam considerados para definir a importância de cada avaliador (ou grupo de avaliadores) nos problemas decisórios.

Ressalta-se que no estudo de caso realizado utilizou-se uma ferramenta computacional, ainda em fase de testes, que implementa a abordagem apresentada. O emprego desta ferramenta foi considerado satisfatório, apresentando uma solução originada dos julgamentos de cada avaliador/grupo de avaliadores, caracterizando os diversos pontos de vista e agrupamentos de critérios, além da solução global (considerando simultaneamente o julgamento de todos avaliadores). Além disso, foi possível verificar a consistência dos julgamentos de cada avaliador.

Considerando que situações semelhantes ocorrem com certa frequência em empresas e organizações, o emprego da abordagem apresentada através da ferramenta computacional poderá auxiliar os gestores de organizações em situações que envolvam a tomada de decisão com múltiplos critérios onde múltiplos avaliadores estão envolvidos.

7 Referências

- Aczel, J. and Saaty, T.L. (1983) Procedures for synthesizing ratio judgments, *Journal of Mathematical Psychology*. v.27, pp. 93-102.
- Belton, V. and Gear, A.E. (1985) The legitimacy of rank reversal – a comment. *Omega*, n.13, 3: pp. 143-144.
- Costa, H.G. (2002) Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão, Niterói: UFF, 104 p.
- Dyer, R.F. & Forman, E.H. (1999) Group decision support with the Analytic Hierarchy Process, *Decision Support Systems*. v.8. pp. 99-124.
- Gomes, L.F.A.M., Araya, M.C.G. e Carignano, C. (2004) Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. Thompson. 168 p.
- Lootsma, F.A. (1993) Scale Sensitivity in the multiplicative AHP and SMART, *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, n.2. pp. 87-110.
- Ramanathan, R. and Ganesh, L.S. (1994) Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages, *European Journal of Operational Research*, n.79. pp. 249-265.
- Saaty, T. L. (2000) *Decision making for leaders*. Pittsburg, USA: WS. Publications.
- Saaty, T. L. (1991) *Método de análise hierárquica*, São Paulo: Makron Books. 367 p.
- Schoner, B. and Wedley, W.C (1989) Ambiguous Criteria Weights in AHP: Consequences and Solutions. *Decision Sciences*, n.20. pp. 462-475.
- Sposito, R. (2007) *A Volta do thin client*, Anuário Info Corporate 2007.
- Trevizano, W. A. (2007) Ferramenta computacional multiusuário para auxílio à tomada de decisão multicritério. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 123p.
- Van Den Honert, R.C. (2001) Decisional Power in Group Decision Making: A Note on the Allocation of Group Member's Weight in the Multiplicative AHP and SMART. *Group Decision and Negotiation*, n.10. pp. 275-286.
- Watson, S.R. and Freeling, A.N.S. (1982) Comment on: Assessing attribute weights by ratios. *Omega*, 11.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio fornecido pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

