



Produto & Produção, vol.12, n.1, p. 42 - 59, fev.2011

Utilização do Método de Análise Hierárquica na Escolha de Software Estatístico para a Demanda de Uma Universidade Pública

José Fabiano da Serra Costa
UERJ

Marcelo Goulart Correia
UERJ

Letícia Tissi Traciera de Souza
UERJ

Esse artigo apresenta a utilização do Método de Análise Hierárquica (AHP) com objetivo de auxiliar a tomada de decisão na escolha do software estatístico mais adequado a demanda de uma universidade pública. O AHP é uma metodologia multicritério para a tomada de decisão cuja utilização é extremamente divulgada e se baseia na capacidade do ser humano em construir e entender hierarquias. O desenvolvimento do modelo teve como base a necessidade do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) para compra e utilização de um software estatístico com a finalidade de uso dos alunos e professores dos cursos desse mesmo Instituto. Nesse contexto, são apresentados o AHP e suas principais características, abordadas a importância dos softwares estatísticos como ferramenta de integração do aluno com métodos estatísticos computacionais e a importância desse instrumento de ensino que possibilita a capacitação em técnicas estatísticas utilizadas amplamente no mercado de trabalho.

Palavras-chave: AHP, Software Estatístico, Multicritério.

This article presents the usage of the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to support the selection of the most suitable statistical software for a public university. AHP is a renowned multicriteria methodology for decision making, based on individuals' capability of building and understanding hierarchies. In this case, the method was applied to respond the need of Institute of Mathematics and Statistics (IME) of University of State of Rio de Janeiro (UERJ) to acquire an statistical software to be used by students and faculties. In this context, AHP and its main characteristics are presented. It also reinforces the importance of statistics software as a tool to help students learn and become familiar to computational statistics methods, highlighting techniques broadly used in the market place.

Keywords: AHP, Statistical Software, Multicriteria.

1. INTRODUÇÃO

Conceito bastante difundido na sociedade globalizada e, de conhecimento público, *software* pode ser considerado o conjunto dos componentes informacionais, que não faz parte do equipamento físico e que inclui os programas e os dados. Rotineiramente, é uma sequência de instruções a serem seguidas e executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um dado ou instruções que, quando executadas, produzem a função e o desempenho desejados (PRESSMAN, 2006; KAISLER, 2005; KURBEL, 2008; FERREIRA, 2002).

A Estatística Computacional (GIVENS & HOETING, 2005) é verdadeiramente uma área multidisciplinar e os diversos problemas desses campos criaram uma atmosfera coberta de pesquisas e desenvolvimentos. Isso tem sido constatado desde o início de sua utilização e, os esforços dos laboratórios estatísticos e suas aplicações levaram a uma rápida evolução.

Um grande número de *softwares* estatísticos, de uso tanto geral como específico estão disponíveis no mercado. Muitos destes *softwares* oferecem atualmente um leque abrangente de procedimentos estatísticos e uma grande flexibilidade para explorar e analisar dados, porém o acesso e a utilização em larga escala ainda não têm acompanhado esse desenvolvimento.

Dentro da ótica do ensino da estatística, quer para os cursos de graduação em Estatística quer para os demais cursos que possuem disciplinas específicas da área, é fundamental o uso desses *softwares*, tanto para capacitar o aluno no desenvolvimento dos modelos estocásticos quanto para dinamizar as práticas de ensino e aprendizado. Isso sem contar que, a maioria das empresas exigem os conhecimentos em determinados *softwares* quando do momento da contratação. Dessa forma, a presença de *softwares* estatísticos é condição imprescindível aos laboratórios de informática de uma instituição de ensino superior.

Esse artigo apresenta uma análise do *software* estatístico mais adequado a ser utilizado pelo Instituto de Matemática e Estatística da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) através de um modelo multicritério de apoio à decisão (*Analytical Hierarchy Process* – AHP).

2. MÉTODOS DE ANÁLISE HIERARQUICA - AHP

O AHP pode ser considerado uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de múltiplos critérios de escolha em uma hierarquia (DSS, 2008). O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério e determina um *ranking* das alternativas.

Dessa forma, o AHP objetiva a seleção ou a escolha de alternativas, em um processo que considera diferentes critérios de avaliação. Vale ressaltar que o método AHP tem a vantagem de permitir a comparação de critérios quantitativos e critérios qualitativos (MORAES & SANTALIESTRA, 2007). É considerado como uma das ferramentas de apoio à decisão multicritério mais conhecidas e difundidas

e, com o maior número de aplicações relatadas na literatura (TORTORELLA & FOGLIATTO, 2008; VAIDYA & KUMAR, 2006).

Segundo Costa (2006), o AHP é baseado em três princípios do pensamento analítico:

- Construção de hierarquias: o problema deve ser estruturado em níveis hierárquicos, como forma de buscar uma melhor compreensão e avaliação do mesmo, sendo parte fundamental do processo de raciocínio humano. No exercício desta atividade, identificam-se os elementos chave para a tomada de decisão, agrupando-os em conjuntos afins, os quais são alocados em camadas específicas;

- Definição de prioridades: o ajuste das prioridades no AHP fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre objetos e situações observadas, comparando pares à luz de um determinado foco ou critério (julgamentos paritários);

- Consistência lógica: no AHP, é possível avaliar o modelo de priorização construído quanto a sua consistência.

Os elementos-chave de uma hierarquia para o tratamento de problemas de decisão são: foco principal - objetivo geral em estudo; conjunto de alternativas viáveis - definição de quais serão as opções que serão analisadas à luz dos critérios definidos; critérios e subcritérios - universo de atributos, quesitos (GARUTI & SANDOVAL, 2006) que serão avaliados em pares de alternativas; construção da hierarquia - após a definição do problema, é construída a hierarquia que representará toda a estruturação do problema.

Para Chankong e Haimes (1983), o conjunto de critérios deve ser completo - todas as propriedades relevantes à solução do problema devem estar cobertas; mínimo - não devem ocorrer redundâncias, e; operacional - para que possa ser compreendido e utilizado pelos avaliadores.

Na figura 1, um exemplo de hierarquia:

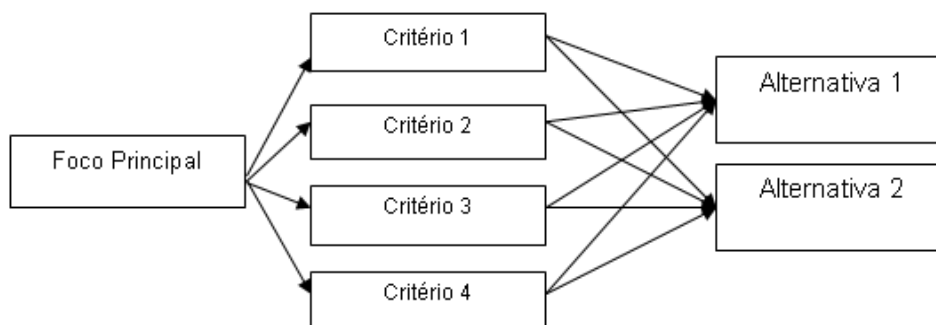


Figura 1 – Hierarquia estruturada após a definição dos problemas de decisão

Para as estruturas de problemas de decisão mais complexos, pode-se usar como instrumento de visualização um quadro com o mesmo objetivo da hierarquia gráfica (quadro 1).

Quadro 1 – Esquema representativo do problema decisório

Foco Principal	Critérios	Subcritérios	Alternativas
Definição do Objetivo	Critério 1	Subcritério 1	Alternativa 1 Alternativa 2 Alternativa 3
		Subcritério 2	
	Critério 2	Subcritério 1	
		Subcritério 2	
		Subcritério 3	
		Subcritério 4	
	Critério 3	Subcritério 1	
		Subcritério 2	
		Subcritério 3	
		Subcritério 4	

Após a estruturação da hierarquia gráfica ou da tabela que representa o problema decisório, é necessária a seleção de especialistas que irão analisar os critérios e as alternativas. Necessariamente, os especialistas selecionados devem ter conhecimento e até mesmo domínio do problema abordado no foco principal (MALHOTRA *et al*, 2007)

Nas etapas de julgamento de critérios e alternativas, o avaliador compara paritariamente (SAATY, 2008) os elementos de uma camada ou nível da hierarquia à luz de cada um dos elementos da camada superior da hierarquia. Caso o problema tenha subcritérios, os mesmos deverão passar pelo mesmo processo de avaliação à luz de cada critério. Finalmente, compara-se a importância dos critérios à luz do foco principal.

Com o entendimento teórico dos julgamentos obtido, é importante definir como é desenvolvida a escala de critérios. Essa escala tem como objetivo padronizar as respostas de cada um dos julgadores após a análise dos critérios e das alternativas.

Existem diversas escalas de julgamento de critérios e alternativas. O quadro apresentado na tabela 1 ilustra a escala proposta por Saaty (1980), que possibilita ao avaliador emitir os julgamentos de uma forma bastante simplificada, utilizando uma linguagem natural. A Escala Fundamental, própria a comparação binária, determina quantas vezes ‘mais dominante’ um elemento é em relação ao outro, em relação a um mesmo critério.

Tabela 1 – Tabela com as escalas de prioridades

Fonte: Saaty (1980)

Escala Verbal	Escala Ordinal
Preferência (ou Importância) Igual	1
Preferência (ou Importância) Moderada	3
Preferência (ou Importância) Forte	5
Preferência (ou Importância) Muito Forte	7
Preferência (ou Importância) Absoluta	9
Preferências (ou Importâncias) Intermediárias	2, 4, 6, 8

2.1. Aquisição dos Dados – Opiniões dos Especialistas

A coleta dos julgamentos paritários é uma das etapas fundamentais para utilização do AHP. Deve-se buscar desenvolver mecanismos simples e de fácil entendimento para que o avaliador possa se concentrar especificamente na emissão dos julgamentos (Costa, 2006). Os avaliadores (especialistas) são os indivíduos (ou grupo de indivíduos) responsáveis pela análise de desempenho ou do grau de importância dos elementos de uma camada ou nível da hierarquia em relação àqueles aos quais estão conectados na camada superior da mesma.

Com base na opinião dos especialistas, obtêm-se as matrizes de julgamentos, de tal forma que uma Matriz de Julgamento será do tipo (1).

$$A = [a_{ij}]_{n \times n} \quad (1)$$

onde a_{ij} representa a importância relativa do atributo E_i em relação ao atributo E_j , de modo que $a_{ij} > 1$, se e somente se E_i for mais importante que E_j e $a_{ij} = 1/a_{ji}$ para qualquer par (i, j) .

Diversas alternativas para conjugar as informações fornecidas pelos diferentes avaliadores (especialistas) já foram propostas e muitas delas chegam a valores muito próximos da consistência (FORMAN & PENIWATI, 2008; COSTA & BELDERRAIN, 2009; EHRLICH, 2004; GOMES *et al*, 2004; SAATY & PENIWATI, 2007; FREITAS *et al*, 2008; INNES, 2008). De toda forma, o que interessa é que as propriedades básicas da matriz recíproca e transitiva sejam respeitadas, ou seja, $a_{ij} \times a_{ji} = 1$ para todo i, j e ainda, se E_i for K_1 vezes mais importante que E_j e, este K_2 vezes mais importante que E_k , então E_i deve ser $K_1.K_2$ vezes mais importante que E_k (proporcionalidade).

Bajwa *et al* (2007) realizam uma comparação de vários métodos de análise e obtenção de vetor de prioridades para matrizes de comparações paritárias utilizando simulações, e identificam o método da Média Geométrica (CRAWFORD & WILLIAMS, 1995) como o mais eficaz, dentro do respeito às propriedades exigidas.

Então, satisfazendo as propriedades citadas chegou-se a uma distribuição de pesos por atributos onde v_1 é o peso indicativo ao atributo E_1 , v_2 é o peso indicativo ao atributo E_2 , e sucessivamente, de modo que v_i é o peso indicativo ao atributo E_i .

No AHP, a priorização é feita em quatro etapas:

- 1 - Obtenção das Matrizes de Julgamento;
- 2 - Normalização das Matrizes de Julgamento;
- 3- Cálculo de Prioridades Médias Locais;
- 4 - Cálculo de Prioridades Médias Globais.

Os julgamentos obtidos são convertidos para matrizes de julgamentos com o auxílio da escala de conversão. Observa-se que os valores apresentados nestes quadros se comportam como elementos de matrizes recíprocas. Este tipo de comportamento (reciprocidade) está presente em todos os quadros de julgamento de valor do AHP e, é inclusive considerado por diversos autores um grande atrativo na utilização do método (SALOMON *et al*, 2009).

As Prioridades Médias Locais (PML) são obtidas para cada um dos nós de julgamentos, pelas médias das colunas dos quadros normalizados. Após a

conclusão dos cálculos das Prioridades Médias Locais, será possível verificar quais alternativas obtiveram as maiores prioridades em relação ao critério julgado.

Para calcular as Prioridades Médias Globais (PG) é necessário combinar as Prioridades Médias Locais relativas a alternativas e critérios. Os elementos de PG armazenam os desempenhos (prioridades) das alternativas à luz do Foco Principal.

2.2 Análise de Consistência

Mesmo quando os julgamentos paritários estão fundamentados na experiência e conhecimento de profissionais, inconsistências podem ocorrer principalmente quando existir um grande número de julgamentos no modelo.

Conforme reportado em Saaty (1980), uma matriz cujos elementos sejam não negativos e recíprocos, e para os quais valha a propriedade da transitividade, apresenta seu maior autovalor com valor igual à ordem da matriz. A matriz de julgamentos no AHP é, com certeza, uma matriz não negativa e recíproca. No entanto, a presença de inconsistência nos julgamentos paritários introduz intransitividades nesta matriz.

Assim, uma forma de se mensurar a intensidade ou grau da inconsistência em uma matriz de julgamentos paritários é avaliar o quanto o maior autovalor desta matriz se afasta da ordem da matriz. Saaty (1980) propõe a equação (2) para o cálculo do Índice de Consistência (IC).

$$IC = |(\lambda_{\text{máx}} - N)|/(N-1) \quad (2)$$

Onde: N e $\lambda_{\text{máx}}$ representam, respectivamente, a ordem e o estimador de autovalor máximo da matriz de julgamentos paritários.

Uma fórmula para o cálculo do Estimador de Autovalor Máximo é dada por (3).

$$\lambda_{\text{máx}} = T.w \quad (3)$$

Onde T é somatório das colunas das matrizes; w é o autovetor normalizado para $\sum v_i = 1$.

Segundo Saaty (1980), a gravidade da ocorrência de inconsistência é reduzida com o aumento da ordem da matriz de julgamentos. Com objetivo de permitir a avaliação da inconsistência em função da ordem máxima da matriz de julgamento, Saaty (1980) desenvolveu o uso da Razão de Consistência (RC). O RC é obtido através da fórmula (4).

$$RC = IC/IR \quad (4)$$

onde, IR é um índice consistência obtido para uma matriz recíproca, com elementos não-negativos e gerados de forma randômica. A tabela 2 ilustra os resultados apresentados por Saaty (1980) para IR , em função da ordem da matriz randômica utilizada.

Tabela 2 – Índices de Consistência Randômicos (IR)

Fonte: Saaty (1980)

Ordem da Matriz									0
Valor de IR	,00	,58	,90	,12	,24	,32	,41	,45	,49

Ainda segundo Saaty (1980), a inconsistência é um fato inerente ao ser humano. Portanto, deve existir uma tolerância para a sua aceitação. Em seu trabalho, Vargas (1982) propõe a aceitação de julgamentos que gerem uma inconsistência com RC inferior a 0,1.

3. ESTATÍSTICA COMPUTACIONAL

O crescimento rápido e sustentado no poder de processamento dos computadores a partir da segunda metade do século XX teve um forte impacto na prática da estatística. Os modelos estatísticos mais antigos eram quase sempre lineares, mas os computadores modernos junto com algoritmos numéricos apropriados causaram um aumento do interesse nos modelos não-lineares (especialmente redes neurais e árvores de decisão) assim como na criação de novos tipos, como o modelo linear generalizado e o modelo multinível (GENTLE *et al*, 2004).

O desenvolvimento do campo da Estatística Computacional foi completamente fragmentado com a chegada de avanços de diversas áreas – algumas dessas áreas foram desenvolvidas por pessoas com interesses específicos e experiência computacional e, outras por pessoas cujos interesses eram investigar certas aplicações, mas também precisaram resolver problemas computacionais. Segundo Hair *et al* (2005), é quase impossível discutir a aplicação de técnicas multivariadas sem analisar o impacto da Estatística Computacional. A ampla aplicação de computadores para processar bancos de dados grandes e complexos tem incentivado significativamente o uso de métodos estatísticos multivariados.

As novas versões baseadas em Sistemas Operacionais modernos oferecem novas facilidades, como interface gráfica, a possibilidade de recortar e colar dados através de aplicações diferentes, troca dinâmica de dados e Inserção e Ligação de Objetos conhecida como OLE, que as tornam muito mais úteis e poderosas do que as versões comando orientadas dos *mainframes*. No entanto, como observado por Morgan (1998), existe uma grande necessidade, na pesquisa científica e na comunidade de negócios, por *softwares* estatísticos que permitam aos não profissionais avaliar dados de forma acurada e eficiente. Aqui será apresentado um breve resumo de cinco importantes *softwares* escolhidos para pesquisa.

3.1 Projeto R

R é uma linguagem e um ambiente de desenvolvimento integrado, para cálculos estatísticos e gráficos. Foi criado inicialmente por Ross Ihaka e Robert Gentleman na Universidade de Auckland, Nova Zelândia, e desenvolvido por um esforço colaborativo de pessoas em vários locais do mundo. É altamente expansível com o uso dos pacotes, que são bibliotecas para funções específicas ou áreas de estudo específicas (HENNING *et al*, 2009).

Disponibiliza uma ampla variedade de técnicas estatísticas - modelagem linear e não linear, testes estatísticos clássicos, análises de séries temporais, classificação, segmentação e técnicas de criação de gráficos (THE COMPREHENSIVE R ARCHIVE NETWORK, 2010). Outro ponto forte do R é a ferramenta de criação gráfica, que produz gráficos com qualidade para publicação, nos quais inclui símbolos matemáticos.

3.2 SAS

O SAS (Statistical Analysis System) é provavelmente o maior pacote computacional oferecido no mercado. O número de ferramentas de análise da companhia SAS só aumentou e seu principal objetivo hoje não está mais centrado na análise estatística. Os pacotes de análise estatística são apenas uma das muitas opções de ferramentas colocadas pela empresa no mercado (SAS BRASIL, 2010). Dos 25 módulos (um central e outros 24 agregados) que a empresa oferece, pelo menos seis possuem de alguma forma suporte para a análise de dados.

Os módulos oferecem recursos para entrada, recuperação e apresentação de dados, relatórios escritos e gráficos, análise estatística e matemática, planejamento de negócios, previsões e suporte a decisões, pesquisa operacional e gerenciamento de projetos, controle estatístico de qualidade, avaliação do desempenho de computadores e para o desenvolvimento de aplicações. Dos componentes do sistema SAS, dois são pacotes estatísticos: o SAS Enterprise Guide e o SAS/STAT. Além destes dois módulos, a empresa oferece ainda o SAS/QC, para o controle estatístico de qualidade e o projeto de experimentos, o SAS/ETS, com recursos para análises econométricas e de séries temporais, o SAS/IML (YAFEE & McGEE, 2000).

3.3 SPSS

É uma evolução da versão orientada por comandos projetada originalmente para *mainframes*, passando pelo DOS, OS/2 e finalmente para o Windows. Ele é oferecido em módulos que incluem: o básico, o profissional, o avançado e outros, que possuem preços diferenciados e são comercializados separadamente (PASW STATISTICS, 2010). O SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) teve sua

origem nas Ciências Sociais e na análise de pesquisas e questionários, mas atualmente é utilizado nas mais diversas áreas, possuindo um conjunto sofisticado de procedimentos para a análise de sobrevivência para ser utilizado na área médica. A empresa produtora do pacote costuma incorporar módulos desenvolvidos por outras companhias ou grupos.

Para lecionar, o SPSS possui uma curva de aprendizagem um pouco mais demorada do que muitos outros pacotes. O pacote é na realidade um conjunto de recursos constituído de um editor de dados, um mecanismo de filtragem de dados, um navegador de saídas, um editor de gráficos e um editor de tabelas. Sobre a dificuldade de manejo do pacote, Lurie (1995) define o SPSS para Windows como um pacote extremamente capaz, mas não para o estatístico casual ou para aqueles com recursos computacionais limitados.

3.4 Statistica

O Statistica é um pacote produzido pela empresa StatSoft, fundada em 1984 por um grupo de professores universitários e pesquisadores de diversas instituições (STATSOFT, 2010). É um sistema abrangente envolvendo análise de dados integrada, gráficos, gerenciamento de base de dados e o desenvolvimento de aplicações customizadas objetivando usuários das áreas de Engenharia, Ciências e Negócios.

Além de procedimentos estatísticos e gráficos de propósitos gerais, o sistema apresenta um conjunto de módulos especializados para cientistas sociais, pesquisadores biomédicos e engenheiros. Atualmente, o pacote é uma coletânea de módulos, a exemplo de outros, com um pacote base suportando os módulos adicionais (SÁ, 2007).

3.5 S-PLUS

Para Ripley (1997), o S-Plus (TIBCO Software) é um dos mais completos pacotes estatísticos disponíveis comercialmente, apresentando um ambiente de desenvolvimento para muitas pesquisas em metodologia estatística e incorporando pesquisas recentes em visualização de dados. Um subproduto deste uso em pesquisa é o fato de que muitas metodologias recentes (especialmente na área de alisamento, *bootstrapping*, estatísticas robustas e análise multivariada) estarem disponíveis como bibliotecas, estendendo o S-Plus. Ainda, segundo Ripley (1997), isto torna o pacote a escolha natural para cursos de pós-graduação e para disciplinas especializadas de cursos de graduação.

O pacote é constituído de duas partes. Uma é a interface baseada no pacote gráfico Axum, e a outra é o mecanismo S-Plus, que é implementado como uma DLL. Ele incorpora ainda a linguagem S, com extensões. A interface fornece uma maneira direta e fácil de executar comandos que antes eram digitados na linguagem S, que foi desenvolvida nos laboratórios da AT&T Bell e tem suporte da StaSci (VENABLES & RIPLEY, 2003).

No quadro 2 é apresentada uma comparação de algumas características dos *softwares*:

Quadro 2: Características dos *Softwares*

<i>Software</i>	Custo Estimado do <i>Software</i>	Custo de Manutenção	Código Aberto	Sistema Operacional
R Project	<i>Software</i> Livre	Variado p/contrato, empresa não fornece esse serviço	Sim	Windows, Mac OS, Unix/Linux
SAS	Não divulgado pela empresa, varia em torno de US\$30.000 por processador/módulo	Variado p/contrato, empresa fornece esse serviço	Não	Windows, Unix/Linux
SPSS	Não divulgado pela empresa, varia em torno de US\$1.600 por usuário/módulo	Variado p/contrato, empresa fornece esse serviço	Não	Windows, Mac OS, Unix/Linux
Statística	Não divulgado pela empresa, varia em torno de US\$700 por usuário/módulo	Variado p/contrato, empresa fornece esse serviço	Não	Windows
S-Plus	Não divulgado pela empresa, varia em torno de US\$1.000 por usuário/módulo	Variado p/contrato, empresa fornece esse serviço	Não	Windows, Unix/Linux

4. MODELO COM CINCO ALTERNATIVAS PROPOSTAS

A partir da escolha do foco principal, foi possível determinar quais os critérios e as alternativas que seriam avaliados pelos especialistas. Para tanto, levou-se um conta a opinião de especialistas do Laboratorio de Informática do Instituto em questão. Após algumas considerações, o modelo foi estabelecido em consenso.

Critérios:

- Preço do Produto (\$P) – Preço do *software*, sem o custo de atualização e de manutenção.
- Custo de Manutenção (\$M) – Incluindo suporte técnico e manutenções corretivas.
- Tempo de Treinamento (TT) – Verificação da curva de aprendizado de cada *software*.
- Estrutura Física Exigida (EFE) – Avaliação do grau de exigência sobre o *hardware* para a execução satisfatória dos *softwares*.

- Quantidade de Análises Estatísticas (QAE) – Especificação dos *softwares* que possuem, de forma quantitativa, o maior número de técnicas para aplicação e estudo.

- Complexidade da Ferramenta (CF) – Determinação do grau de dificuldade e habilidade exigidas para o uso do *software*.

Alternativas:

- Projeto R (A_1)

- SAS (A_2)

- SPSS (A_3)

- Statistica (A_4)

- S-Plus (A_5)

Após a determinação dos critérios e alternativas, foi necessária a escolha dos especialistas que julgariam os mesmos. Por se tratar de um importante item para o desenvolvimento, foram escolhidos dez professores do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) que possuíam conhecimento sobre os *softwares* estatísticos, e seriam os responsáveis pela avaliação dos critérios e alternativas.

Com a definição do modelo, teve início a etapa de construção do mecanismo de coleta dos dados. Foi definido que o modelo de coleta dos dados seria o envio de questionários aos especialistas que participariam da pesquisa através de *e-mails*, e caso algum professor não conseguisse acessar o questionário enviado, seria agendada uma entrevista para a coleta das informações. Os especialistas receberam o questionário no formato Excel 2003 e, para facilitar quanto ao entendimento dos critérios e das alternativas, esses questionários possuíam breves explicações sobre cada um dos itens avaliados. Para usufruir desse mecanismo, bastava o avaliador direcionar o ponteiro do *mouse* nos critérios e nas alternativas.

Foram enviados a cada especialista sete questionários: um questionário avaliando as prioridades entre os critérios em relação ao foco principal; os outros seis questionários tinham como objetivo a avaliação das alternativas em relação aos critérios. O prazo determinado para o preenchimento e retorno das avaliações foi estimado em quinze dias. Todos os avaliadores responderam os questionários dentro do prazo estabelecido, emitindo suas opiniões.

Após o recebimento dos questionários e efetuados os cálculos, foram obtidas as seguintes Prioridades Médias Locais:

PML \$P = (0,536; 0,106; 0,108; 0,116; 0,134) – Preço do Produto.

PML \$M = (0,541; 0,095; 0,129; 0,119; 0,115) – Custo de Manutenção.

PML TT = (0,169; 0,206; 0,250; 0,183; 0,191) – Tempo de Treinamento.

PML EFE = (0,301; 0,137; 0,165; 0,167; 0,230) – Estrutura Física Exigida.

PML QAE = (0,209; 0,290; 0,237; 0,069; 0,194) – Quantidade de Análises Estatísticas.

PML CF = (0,216; 0,268; 0,261; 0,090; 0,165) – Complexidade da Ferramenta.

PML FP = (0,227; 0,162; 0,071; 0,116; 0,295; 0,129) – Foco Principal.

Na tabela 3, são apresentados os elementos de Prioridade Global que armazenam os desempenhos (prioridades) das alternativas a luz do Foco Principal.

Tabela 3 – Prioridades Globais

Alternativas	PG
Projeto R	0,3456
SAS	0,1904
SPSS	0,1860
Statistica	0,1100
S-Plus	0,1680

Após a obtenção dos resultados, uma etapa que não pode ser desprezada é a Análise de Consistência. Com esse procedimento é possível verificar se os julgamentos e as matrizes dos especialistas foram obtidos de forma correta. A tabela 4 mostra os resultados obtidos para a análise de cada matriz.

Tabela 4 – Análise de Consistência

Critério/Foco	$\lambda_{\text{máx}}$	IC	IR	RC
\$P	5,00	0,00	1,12	0,00
\$M	5,00	0,00	1,12	0,00
TT	5,00	0,00	1,12	0,00
EFE	5,00	0,00	1,12	0,00
QAE	5,00	0,00	1,12	0,00
CF	5,00	0,00	1,12	0,00
FC	6,00	0,00	1,24	0,00

O uso da Razão de Consistência (RC) permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de julgamentos. Caso este valor seja maior que 0,1, recomenda-se a revisão do modelo e/ou dos julgamentos. Para as matrizes analisadas, verificou-se que o RC obteve valor abaixo de 0,1, sendo assim, conclui-se que os julgamentos foram consistentes. A figura 2 mostra os resultados de maneira hierarquizada.

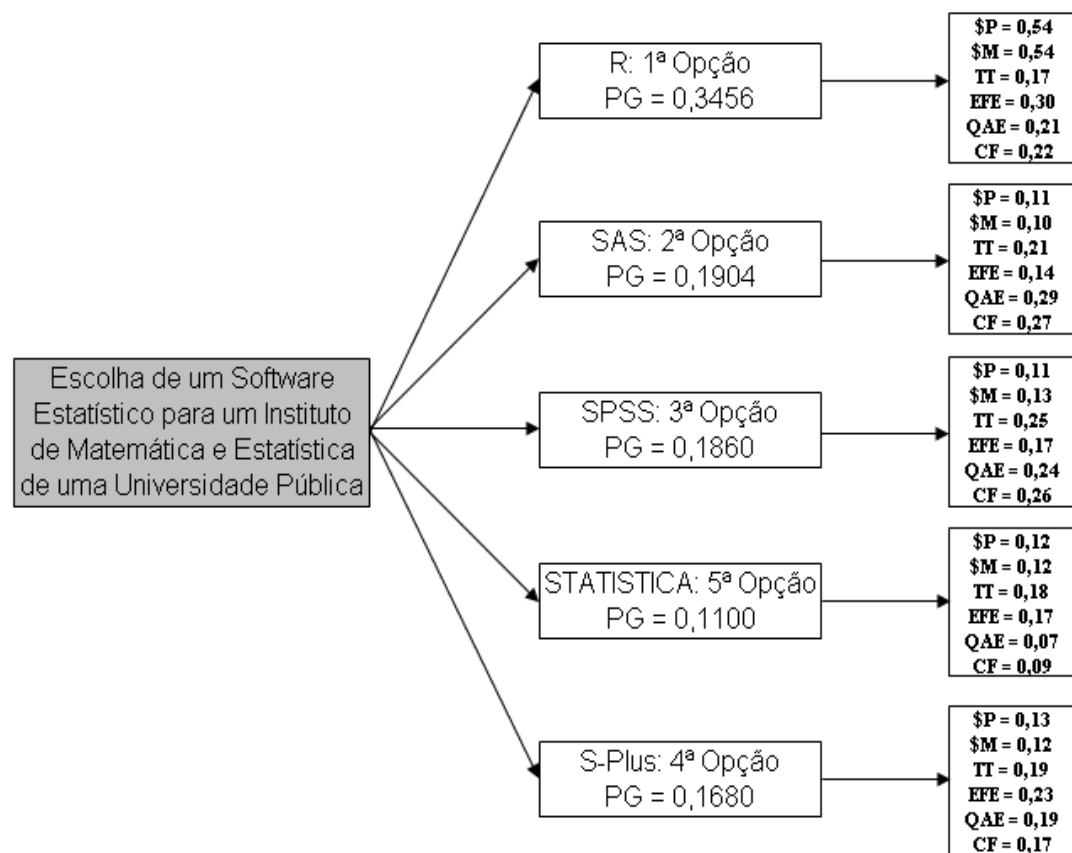


Figura 2 – Resultado final da síntese das opiniões dos especialistas

5. MODELO COM QUATRO ALTERNATIVAS PROPOSTAS

Em seguida, foi retirada da análise a opção Projeto R, devido ao fato de ter ocorrido uma forte influência dos pesos atribuídos aos critérios Preço do Produto e Custo de Manutenção sobre o resultado final. O modelo mostrou ser incompatível a comparação de um *software* gratuito com os demais.

Então, para evitar o problema da inversão de ordem (GOMES *et al*, 2004), uma nova pesquisa foi desenvolvida com apenas quatro alternativas (SAS, SPSS, Statística e S-Plus), porém, colhendo novamente as informações com os mesmos avaliadores da pesquisa desenvolvida anteriormente (dez professores do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade do Estado do Rio de Janeiro).

Os procedimentos de coleta de material foram os mesmos da pesquisa anterior e, todos os especialistas responderam dentro do prazo estabelecido. Após o recebimento dos questionários e efetuados os cálculos e, assim como no modelo anterior, com base nos cálculos da Média Geométrica, foi possível efetuar a normalização para a obtenção das Prioridades Médias Locais.

PML \$P = (0,110; 0,224; 0,390; 0,277) – Preço do Produto.

PML \$M = (0,118; 0,274; 0,286; 0,322) – Prioridade Custo de Manutenção.

PML TT = (0,138; 0,395; 0,244; 0,222) – Tempo de Treinamento.

PML EFE = (0,152; 0,279; 0,251; 0,318) – Estrutura Física Exigida.

PML QAE = (0,480; 0,273; 0,081; 0,166) – Quantidade de Análises Estatísticas.

PML CF = (0,330; 0,307; 0,156; 0,207) – Complexidade da Ferramenta.

PML FP = (0,197; 0,138; 0,101; 0,110; 0,324; 0,130) – Foco Principal.

Os elementos de PG armazenam os desempenhos (prioridades) das alternativas à luz do Foco Principal, como mostra a tabela 5.

Tabela 5 – PG da pesquisa analisada

Alternativas	PG
SAS	0,2670
SPSS	0,2807
Statistica	0,2152
S-Plus	0,2371

Assim como no modelo anterior, a análise da consistência foi calculada e apresentada na tabela 6.

Tabela 6 – Análise de Consistência

Critério/Foco	$\lambda_{\text{máx}}$	IC	IR	RC
\$P	4,00	0,00	0,90	0,00
\$M	4,00	0,00	0,90	0,00
TT	4,00	0,00	0,90	0,00
EFE	4,00	0,00	0,90	0,00
QAE	4,00	0,00	0,90	0,00
CF	4,00	0,00	0,90	0,00
FC	6,00	0,00	1,24	0,00

Consoante ao que foi dito anteriormente, o uso da Razão de Consistência (RC) permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de julgamentos. Quanto mais próximo esse valor esteja de zero, melhor estará a consistência. Na tabela 6, a Razão de Consistência é igual a zero para todos os critérios e, também para o foco principal, logo a consistência pode ser considerada muito boa.

A figura 3 mostra os resultados do modelo hierarquizado com a opinião dos especialistas.

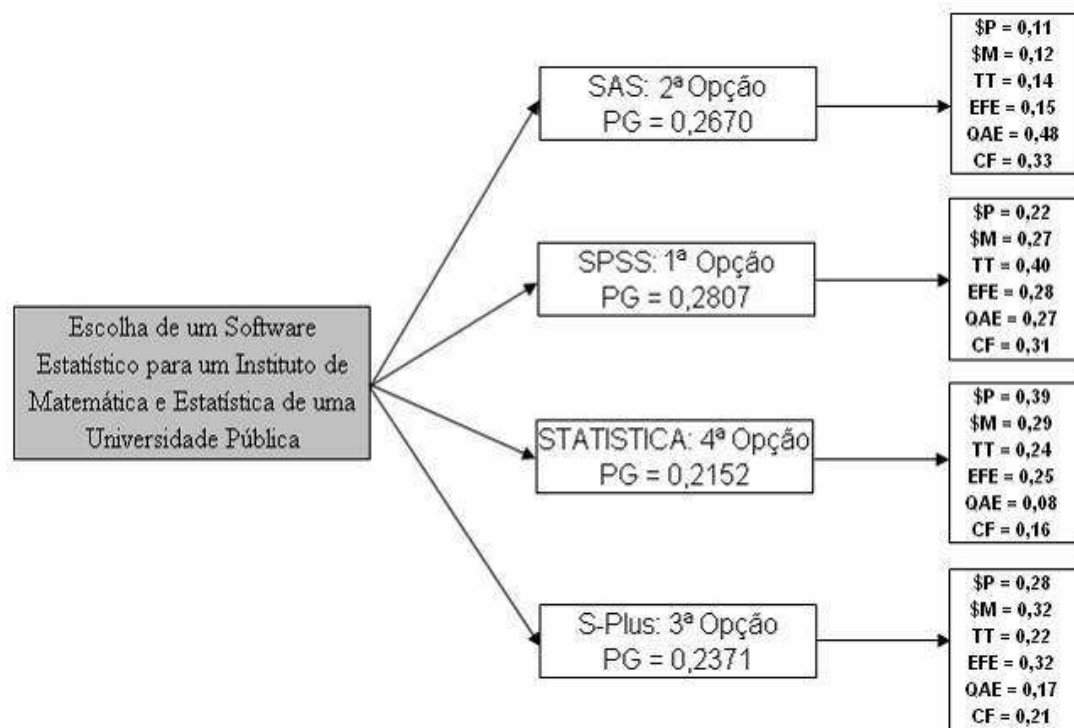


Figura 3 – Resultado Final da Síntese das Opiniões dos Especialistas

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira análise, foram considerados os *softwares* R, SAS, SPSS, Statistica e S-Plus. O *software* que obteve maior prioridade foi o Projeto R (0,3456). Acredita-se que a explicação para o resultado resida no fato do R ser gratuito e, portanto ter obtido melhor resultado no critério Preço do Produto (0,536) e no critério Custo de Manutenção (0,541), por consequência alcançando um crescimento forte na sua prioridade. Vale notar que o valor obtido para a prioridade global do Projeto R é quase o dobro do valor obtido para o segundo colocado SAS (0,1904).

Devido a isso, a solução foi criar uma nova linha de análise com exclusão da alternativa Projeto R. Os especialistas que participaram primeira análise foram os mesmos. A taxa de retrabalho para a coleta dos dados foi menor do que na primeira pesquisa, acredita-se que esse fato ocorreu pela experiência prévia dos especialistas no manuseio do questionário utilizado.

Na segunda análise, foram avaliados os *softwares* SAS, SPSS, Statistica e S-Plus. O *software* que obteve maior prioridade foi o SPSS (0,2807). Acredita-se que uma explicação para o resultado resida no fato do SPSS apresentar melhor resultado no critério Tempo de Treinamento (0,395) e segundo melhor resultado em Estrutura Física Exigida (0,279), Quantidade de Análises Estatísticas (0,273) e Complexidade da Ferramenta (0,307). Vale notar que nessa segunda análise os valores das prioridades globais se encontram muito próximas.

Os resultados foram repassados com as devidas considerações a respeito à Direção do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) sendo a opção Projeto R a mais indicada na primeira análise e, a opção SPSS na segunda. Entretanto deve-se levar em consideração o *ranking* obtido nos dois casos.

Quanto à consistência dos resultados dos modelos, a análise demonstrou que os julgamentos e os resultados estavam bastante satisfatórios em ambos os casos, atendendo assim a todas as exigências do método (reciprocidade, transitividade e proporcionalidade).

REFERÊNCIAS

BAJWA, G., CHOO, E.U., WEDLEY, W.C. *Effectiveness Analysis of Deriving Priority Vectors from Reciprocal Pairwise Comparison Matrices*. In: The 9th International Symposium of Analytic Hierarchy Process (ISAHP 2007) Viña Del Mar, Proceedings..., Chile, 2007.

CHANKONG, Y., HAIMEES, Y. *Multiobjective Decision Making*. Amsterdam, Ed. North Holland, 1983. 432 p.

COSTA, H. G. *Auxílio Multicritério à Decisão: Método AHP*. RJ, LATEC/UFRJ, 2006. 115 p.

COSTA, T. C., BELDERRAIN, M. C. N. *Decisão em Grupo em Métodos Multicritério de Apoio à Decisão*, In: 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA XV ENCITA, Anais... São José dos Campos, SP, 2009.

CRAWFORD, G., WILLIAMS, C. *The Analysis of Subjective Judgement Matrices, The Rand Corporation R - 2572-1-AF*. EUA, 1985.

DECISION SUPPORT SYSTEMS GLOSSARY. Disponível em: <<http://dssresources.com/>>. Acesso em julho de 2009.

EHRLICH, P. J. *Procedimentos para Apoio às Decisões: Gestão dos Riscos e de Objetivos Conflitantes*. Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas, SP, 2004. Disponível em: <http://www.fgvsp.br/academico/professores/Pierre_J_Ehrlich/>. Acesso em: outubro de 2009.

FERREIRA, M. P. *Desenvolvimento de Software Alinhado aos Objetivos Estratégicos do Negócio: Proposta de uma metodologia*. Dissertação de Mestrado, Florianópolis, UFSC, 2002.

FORMAN, E., PENIWATI, K. *Aggregating Individual Judgments and Priorities with the Analytic Hierarchy Process*. *European Journal of Operational Research*, n.108, pp. 165-169, 1998.

FREITAS, A. L. P., TREVIZANO, W. A., COSTA, H. G. *Uma Abordagem Multicritério para Problemas Decisórios com Múltiplos Grupos de Avaliadores. Investigação Operacional*, 28, pp. 133-149, Lisboa, Portugal, 2008.

GARUTI, C., SANDOVAL, M. *The AHP: A Multicriteria Decision Making Methodology for Shiftword Prioritizing. Journal of Systems Science and Systems Engineering*, vol. 15, n.2, pp. 189-200, 2006.

GENTLE, J. E., HARDLE, W., MORI, Y. *Handbook of Computational Statistics - Concepts and Methods*. New York, Springer-Verlag, 2004. 1053 p.

GIVENS, G. H., HOETING, J. A. *Computational Statistics*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2005. 407 p.

GOMES, L.F.A.M., ARAYA, M.C.G., CARIGNANO, C. *Tomada de Decisão em Cenários Complexos: Introdução aos Métodos Discretos do Apoio Multicritério à Decisão*, Rio de Janeiro, Thompson Learning, 2004. 168 p.

HAIR, J.F., ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L., BLACK, W.C. *Análise Multivariada de Dados – 5 edição*. Porto Alegre – Bookman, 2005. 593 p.

HENNING, E., ALVES, C. C., KONRATH, A. C., SAMOHYL, R. W. *Uma Breve Visão sobre aplicações em Ambiente R para o Ensino de Engenharia*. COBENGE 2009, Anais..., Recife, PE, 2009.

INNES, J. *Managing Impact Reduction in Fisheries: A Multi-Criteria Assessment of Objective Priorities*. In: The 37th Australian Conference of Economist (ACE08), Proceedings..., Queensland, Australia, 2008.

KAISLER, S. H. *Software Paradigms*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2005. 440p.

KURBEL K. E. *The Making of Information Systems: Software Engineering and Management in a Globalize World*. Berlin, Springer-Verlag, 2008. 591p.

LURIE, P. M. *A Review of Five Statistical Packages for Windows. The American Statistician*, vol. 49, n. 1, pp. 99-107, 1995.

MALHOTRA, V. A., LEE M. D., KHURANA, A. *Domain Experts Influence Decision Quality: Towards a Robust Method for their Identification*. J. of Petroleum Science and Engineering, 57, pp. 181-194, 2007.

MORAES, E. A., SANTALIESTRA, R. *Modelo de Decisão com Múltiplos Critérios para Escolha de Software de Código Aberto e Software de Código Fechado*. In: XXXI Encontro da ANPAD, Anais..., Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MORGAN, W. T. *A Review of Eight Statistics Software Packages for General Use. The American Statistician*. vol. 52, n. 2, pp. 70-82, 1998.

PASW STATISTICS. Disponível em: <<http://www.spss.com/statistics/>>. Acesso em: 20 jul. 2010.

PRESSMAN, R. S. *Engenharia de Software*. São Paulo: Mcgraw Hill, 2006. 752p.

RIPLEY, B. D. *S-PLUS for Windows version 4.0*. EUA- Maths&Stats Newsletter, 1997.

SÁ, J. P. M. *Applied Statistics using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R*. New York., Springer, 2007.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. EUA, Nova Iorque, McGraw-Hill, 1980. 287 p.

SAATY, T. L., PENIWATI, K. *Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences*. Pittsburgh: RWS Publications, 2007. 385 p.

SAATY, T. L. *Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making, Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors, The Analytic Hierarchy/Network Process, RACSAM - Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics*, vol. 102 (2), pp. 251-318, 2008.

SALOMON, V. A. P., MARINS, F., DUDUCH, M. *Tomada de Decisões Múltiplas aplicada à Seleção de Fornecedores de Equipamentos de uma Linha de Montagem em uma Fábrica de Autopeças*. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, vol. 1, n.3, pp.208-217, 2009.

SAS BRASIL. Disponível em: <<http://www.sas.com/offices>>. Acesso em: 20 jul. 2010.

STATSOFT. Disponível em: <<http://www.statsoft.com/>>. Acesso em: 20 jul. 2010. *THE COMPREHENSIVE R ARCHIVE NETWORK*. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/>> - Acesso em: 20 jul. 2010.

TORTORELLA, G. L., FOGLIATTO, F. S. *Planejamento Sistemático de Layout com Apoio de Análise de Decisão Multicritério*. Revista Produção, vol. 18, no. 3, pp. 609-624, 2008.

VAIDYA, O. S., KUMAR, S. *Analytic Hierarchy Process: An overview of applications*. *European Journal of Operational Research*, v. 169 (1), pp. 1-29, 2006.

VARGAS, G. L. *Reciprocal Matrices with Random Coefficients*. *Mathematical Modelling*, 3(1); pp.69-81, 1982.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. *Modern Applied Statistics with S*, 4ª ed. New York, Springer, 2003. 481 p.

YAFEE, R., MCGEE, M. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting with Applications of SAS and SPSS*. Orlando, Academic Press., 2000. 509p.

