

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Incorporação de julgamentos de valor à análise envoltória de dados
como modelo multicritério de apoio à decisão

Pedro Paulo Sangreman Lima Mota
Orientador: Profa. Ana Paula Cabral Seixas Costa, DSc

RECIFE, Dezembro / 2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**INCORPORAÇÃO DE JULGAMENTOS DE VALOR À
ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS COMO MODELO
MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

POR

PEDRO PAULO SANGREMAN LIMA MOTA

Orientador: Prof^ª. Ana Paula Cabral Seixas Costa, DSc

RECIFE, DEZEMBRO / 2009

M917i

Mota, Pedro Paulo Sangreman Lima.

Incorporação de julgamentos de valor à análise envoltória de dados como modelo multicritério de apoio à decisão / Pedro Paulo Sangreman Lima Mota. - Recife: O Autor, 2009.

vi, 29 folhas, il : figs., tabs.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso de Engenharia de Produção, 2009.

Inclui Bibliografia.

1. Engenharia de Produção. 2. Apoio Multicritério à Decisão. 3. Análise Envoltória de Dados. 4. *Swing Weights*. 5. SMARTS. I. Título.

UFPE

658.5

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-243

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Eliana Sangreman Lima, pessoa fundamental na formação dos meus princípios e de quem me orgulho muito, pelo apoio e incentivo a todas as minhas decisões e principalmente pelo amor incondicional.

Ao meu pai Pedro Santana Mota e aos meus irmãos Cau, Lisa e Marquinhos, cujo afeto e amor superam a distância física.

À minha avó Nita, meus tios Kleber, Vera, Martha, Sandra, Cris e Carlos, que sempre me dão forças, me iluminam e tanto torcem pelo meu sucesso.

Aos meus primos Henrique, Eduardo, Artur, Silvinho, Serginho e Lau, pela confiança e companheirismo de todas as horas e pela certeza de que sempre poderei contar com eles.

À minha namorada Juliana, que mesmo estando longe, contribuiu diariamente para este trabalho com muito carinho, amor e paciência, fundamentais à finalização do mesmo.

À minha orientadora Ana Paula, pelo crescimento que me proporcionou não somente neste trabalho, mas durante toda a graduação em Engenharia de Produção.

Aos amigos Pedro Villela e Daniel Cavalcanti (minha dupla), pessoas de enorme afinidade e grandes confidentes, pelas conversas sempre agradáveis e pelos incentivos constantes.

Especialmente ao meu avô, Lauro Pais Lima (*in memoriam*), eterna fonte de inspiração e tranquilidade, pela presença constante em minha vida.

RESUMO

Este trabalho propõe um modelo de apoio multicritério à decisão que adiciona à Análise Envoltória de Dados (DEA) a capacidade de considerar julgamentos de valor do decisor a partir de uma alteração em seu modelo original. O método desenvolvido obtém as preferências do decisor com o uso da técnica *Swing Weights*, extraída do SMARTS (*Simple Multi Attribute Rating Technique using Swings*) e combina o perfil destas preferências com o Coeficiente de Correlação de Spearman e Análise Envoltória de Dados. O resultado é um modelo de decisão capaz de reduzir o conjunto inicial de alternativas de decisão somente àquelas consideradas eficientes e indicar dentre estas a que melhor se adéqua às preferências do decisor. Além do modelo proposto, este trabalho conta com uma breve contextualização dos temas Decisão Multicritério e Análise Envoltória de Dados, e também com uma ilustração da aplicabilidade do modelo através de um estudo de caso para seleção de prestadores de serviços de TI.

Palavras-chave: Apoio multicritério à decisão, Análise Envoltória de Dados, *Swing Weights*, SMARTS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1- Pesos ótimos para Empresa A versus pesos desejados pelo decisor	23
Figura 4.2- Pesos ótimos para Empresa B versus pesos desejados pelo decisor	23
Figura 4.3- Pesos ótimos para Empresa D versus pesos desejados pelo decisor	24
Figura 4.4- Pesos ótimos para Empresa I versus pesos desejados pelo decisor	24
Figura 4.5- Pesos ótimos para Empresa J versus pesos desejados pelo decisor	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Frequência de uso das principais “táticas de avaliação de alternativas”.....	2
Tabela 3.1 – Exemplos de grupos que podem ser avaliados com uso de DEA	10
Tabela 4.1 - Desempenho dos critérios das unidades em avaliação	21
Tabela 4.2 - Eficiência (DEA) das unidades em avaliação	22
Tabela 4.3 - Vetor de pesos desejados	22
Tabela 4.4 - Máxima correlação de Spearman	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Problemática.....	1
1.2	Justificativa e Relevância	2
1.3	Objetivo	4
1.3.1	Objetivo geral	4
1.3.2	Objetivo específicos.....	4
1.4	Metodologia.....	5
1.5	Organização da Monografia	5
2	DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	6
2.2	Decisão Multicritério.....	6
2.2	Métodos de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA).....	7
2.3	Método Swing Weights de Elicitação de Preferências	9
3	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	11
3.1	O Modelo Clássico	12
3.2	Integração entre DEA e Apoio à Decisão Multicritério (MCDA).....	14
4	MODELO DA MÁXIMA CORRELAÇÃO COM ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E TROCA DE PESOS	16
4.1	Motivação para construção do modelo.....	16
4.2	Descrição Modelo.....	17
4.2.1	Coeficiente de Correlação de Spearman	17
4.2.2	Etapas do modelo proposto.....	18
4.3	Discussão do modelo de decisão proposto	20
4.4	Uma aplicação do modelo proposto na seleção de prestadores de serviços de hospedagem de sites 21	
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28

1 INTRODUÇÃO

Situações de tomada de decisão são comuns no dia-a-dia de todos, em todas as esferas da sociedade. Sempre que uma pessoa se depara com a necessidade de escolher uma alternativa entre um conjunto de opções está vivenciando uma situação de tomada de decisão. Decisões pessoais são incontáveis, como a escolha do restaurante onde almoçar, de um lugar para visitar, de graduação que cursar, do tema para o trabalho de conclusão de curso.

Organizações privadas e públicas, tanto na indústria de bens ou serviços como no comércio, independente de porte, também estão continuamente envolvidas em processos decisórios cuja complexidade pode variar de baixa ou média (geralmente em nível operacional) até alta (em nível gerencial e estratégico). É neste último cenário, de decisões mais complexas, em que as Metodologias de Apoio à Decisão ganham maior visibilidade. São problemas de decisão que se enquadram neste perfil: escolha de fornecedores, seleção de recursos humanos, escolha de máquinas e de opções de investimento, entre outros.

Esta seção trata da forma como este tema foi tratado na monografia, descrevendo a problemática na qual o trabalho está inserido, sua justificativa e relevância, os objetivos e a organização dos capítulos.

1.1 Problemática

Atualmente não há um método definitivo para introdução de julgamentos de valor na Análise Envoltória de Dados (DEA). Apoio Multicritério à Decisão (AMD) e DEA possuem objetivos distintos, pois enquanto DEA se propõe a classificar eficiência de unidades a partir de comparações entre seus fatores de produtividade, AMD busca auxiliar a tomada de decisões fornecendo meios concretos para que os decisores expressem suas preferências em relação a um conjunto de alternativas e optem por aquela que se mostre mais adequada. Apesar deste fato, diversos trabalhos foram desenvolvidos com o intuito de combinar estas duas metodologias, motivados em grande parte pelo fato de que a Análise Envoltória de Dados possui grande potencial como ferramenta de identificação de alternativas não dominadas em um problema de decisão (GOMES *et al*, 1999 *apud* LINS e MEZA, 2000).

A capacidade de uma ferramenta identificar alternativas não dominadas, por si só, não é suficiente para que a mesma seja eficaz como ferramenta de apoio à decisão. Para tal faz-se necessário que a visão do decisor a respeito dos critérios considerados seja levada em conta, atribuindo assim um caráter pessoal ao processo decisório. Devido às dificuldades humanas

naturais de estabelecer relações de preferências bem definidas, este é o ponto em que a integração entre DEA e MCDA se torna mais delicada, e face disto este trabalho pretende abordar o tema e contribuir para o mesmo com a formulação de um novo modelo de decisão agregando julgamentos de valor e análise envoltória de dados.

1.2 Justificativa e Relevância

Nutt (1998) em seu trabalho intitulado “*How Decision Makers Evaluate Alternatives*”, realizou uma pesquisa com base em 317 decisões estratégicas de empresas com e sem fins lucrativos a fim de verificar quais “táticas de avaliação de alternativas” são utilizadas em processos decisórios e em que frequência, assim como também o quanto cada uma delas influencia o sucesso do processo decisório. As táticas mais frequentes foram agrupadas em quatro classes: “táticas analíticas” – utilizam ferramentas como análise de custo-benefício e modelos matemáticos; “táticas de barganha” – quando *stakeholders* precisam entrar em consenso sobre a escolha de uma alternativa a partir de, por exemplo, uma votação; ‘táticas subjetivas’ – aquelas em que as decisões são tomadas com base em opiniões de especialistas ou em interpretação de dados e “táticas de julgamento” – englobam as situações de decisão meramente intuitivas, onde não há qualquer esforço para inferir maiores informações. Restringindo-se apenas às decisões do tipo multicritério, a frequência de utilização de cada classe de “tática de decisão” pode ser resumida na tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Frequência de uso das principais “táticas de avaliação de alternativas”.

Fonte: Nutt (1988) – adaptado.

Tática de Avaliação	Analítica	De barganha	Subjetiva	De julgamento
Frequência de Uso	57%	11%	30%	1%

Para cada classe o autor faz ainda uma divisão em subclasses, sendo as “táticas analíticas” subdivididas em “táticas quantitativas de dados” (37% de uso, ex: análises financeiras, estudos de custo-benefício, estudos com métodos multicritério), “táticas quantitativas piloto” (14% de uso, ex: implementação de projetos-piloto a fim de inferir o retorno das alternativas de decisão) e “táticas quantitativas de protótipos” (6% de uso ex: testes em protótipos antes de escolher uma alternativa). Pode-se inferir então pelo estudo de Nutt (1998) que a maioria das decisões multicritério utiliza métodos analíticos, e em média 37% dessas são tomadas com uso de alguma tática baseada em análise de dados.

Quanto à segunda questão pesquisada por Nutt (1998), a contribuição das “táticas de avaliação de alternativas” para o sucesso das decisões, chamam atenção dois dos critérios

abordados: “*Sustained Adoption*” e “*Complete Adoption*”. Estes critérios avaliam se o status das decisões tomadas é alterado nos anos seguintes à tomada de decisão. A diferença entre os dois critérios é que, enquanto no segundo, caso uma decisão seja apenas parcialmente alterada após tomada, a mesma é considerada como uma decisão falha, enquanto que no primeiro a mesma decisão é considerada como uma decisão bem sucedida. Nesta avaliação de contribuição para o sucesso de cada “tática”, Nutt (1998) conclui em relação ao critério “*Sustained Adoption*” que as decisões multicritério que utilizaram “táticas quantitativas de dados” foram pouco eficientes, superando apenas as decisões meramente intuitivas. Já em relação ao critério “*Complete Adoption*” esta mesma subclasse de decisões mostrou-se mais eficiente do que as decisões subjetivas.

Como pode ser visto no estudo de Nutt (1988), grande parte das decisões multicritério é tomada a partir de um estudo com base em análise de dados quantitativos, porém a eficiência destas decisões ainda é baixa se comparada com àquelas que utilizam outros métodos de apoio. Neste contexto, os métodos multicritério de apoio à decisão encontram um vasto terreno para desenvolvimento e aplicação, e no meio acadêmico estudos sobre o MCDA estão sendo constantemente realizados, levando este tema a receber muita atenção na literatura de Pesquisa Operacional (GOMES *et al*, 1999 *apud* LINS e MEZA, 2000).

Em essência, decisões tomadas com métodos de apoio multicritério sempre necessitam de interferência humana. Isto ocorre porque alternativas distintas podem ter seu desempenho alterado em função de quem as avalia, o que exige que as características do decisor sejam consideradas durante o processo decisório. Segundo Brans e Mareschal (1994 *apud* GOMES, GOMES E ALMEIDA 2006), uma medida eficaz para solucionar um problema de decisão considerando-se características próprias do decisor é identificar a importância relativa que este decisor atribui a cada critério em avaliação. A forma mais comum e intuitiva de identificar esta importância relativa é solicitar ao decisor que este atribua pesos a cada critério, e uma vez que isto seja realizado estes pesos contribuirão ativamente com o resultado do processo decisório. Esta atribuição definição de pesos é um processo complexo que é influenciado, entre outros fatores, pela amplitude do desempenho do critério. Por exemplo: se na escolha de compra entre três carros o valor dos mesmos variar R\$ 10.000,00, o critério preço pode receber grande importância (maior peso), ao passo de que, a amplitude de variação no preço dos modelos seja de apenas R\$ 100,00, talvez o critério preço tenha um peso tão pequeno que possa até ser desconsiderado.

Visto que a tarefa do decisor de atribuir pesos aos critérios torna-se mais fácil quanto menor for o número de alternativas a ser considerado, a Análise Envoltória de Dados aparece como uma ferramenta com grande potencial como método de apoio multicritério à decisão, dado o seu poder de reduzir o conjunto de alternativas eliminando os candidatos ineficientes. Ou seja, o uso de DEA durante o processo de decisão multicritério pode contribuir significativamente com a simplificação do mesmo ao reduzir, sem necessidade de interferência humana, o conjunto de alternativas de decisão. Porém, como exposto anteriormente, o modelo original da Análise Envoltória de Dados por si só não é capaz de efetuar uma análise multicritério, fazendo-se necessário a realização de mudanças no mesmo para que este incorpore os julgamentos de valor do decisor. Diversos trabalhos foram propostos com o intuito de incorporar julgamentos de valor à Análise Envoltória de Dados como pode ser visto em Gomes *et al* (2000), sendo a maioria baseada em imposições de limites aos pesos dos critérios. Segundo Allen *et al.* (1997), os principais objetivos de se realizar esta operação são:

- Incorporar informações ou crenças do decisor a respeito dos critérios;
- Possibilitar estabelecimento de laços entre *inputs* e *outputs*;
- Auxiliar na discriminação de unidades eficientes.

O presente trabalho enquadra-se nos contextos do primeiro e do terceiro objetivo listados anteriormente, porém o faz sem impor restrições aos pesos dos critérios. Ao invés disso, a idéia central é mensurar a capacidade das alternativas eficientes de adequarem as relações entre seus pesos às relações estabelecidas pelo decisor.

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo geral

Formular um modelo derivado da Análise Envoltória de Dados que identifique os julgamentos de valor de um decisor e apresente-se como modelo multicritério de apoio à decisão.

1.3.2 Objetivo específicos

- Explorar conceitualmente os temas Decisão Multicritério e Análise Envoltória de Dados;
- Investigar as possibilidades de interação entre estas duas metodologias;

- Formular um modelo de apoio a decisão;
- Testar a aplicabilidade do modelo a partir da resolução de um caso prático utilizando o mesmo;
- Identificar as principais características e limitações do modelo proposto.

1.4 Metodologia

A pesquisa desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso tem um objetivo prático e possui possibilidade concreta de aplicação, sendo assim classificada como pesquisa aplicada (ABRAMO 1979: 34-44, *apud* MARCONI & LAKATOS, 2002: 21-22).

Neste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre Análise Envoltória de Dados, Métodos Multicritério de Apoio à Decisão e técnicas de elicitação de preferências. Essa técnica de pesquisa foi utilizada para colocar o pesquisador em contato com o que já foi publicado a respeito das ferramentas utilizadas neste trabalho, contribuindo para assimilação do conhecimento existente sobre o tema e evitando a ré-formulação de um modelo já existente. A pesquisa bibliográfica foi realizada em livros, artigos e periódicos.

Após concluída a revisão bibliográfica, foi formulado um modelo de apoio a decisão com as características desejadas. Ao final, um problema de decisão multicritério foi resolvido com o uso do modelo proposto, possibilitando a validação do mesmo.

1.5 Organização da Monografia

Este trabalho foi organizado em cinco capítulos obedecendo à seqüência conceitual necessária ao entendimento do modelo proposto. O primeiro capítulo introduz o leitor ao trabalho, descrevendo a problemática, a justificativa e os objetivos da monografia. O segundo discorre sobre o tema Decisão Multicritério, descrevendo brevemente alguns métodos consagrados na literatura e introduzindo o método *Swing Weights* de elicitação de preferências. O capítulo 3 contém o embasamento teórico necessário à compreensão da Análise Envoltória de Dados, o detalhamento do modelo original deste método no qual se fundamenta parte do modelo proposto e também uma seção sobre as possibilidades de integração entre Análise Envoltória de Dados e Apoio Multicritério à Decisão. O capítulo 4 trata do modelo proposto, relatando sua origem e descrevendo seu algoritmo. Ao final deste capítulo encontra-se uma aplicação do modelo proposto na seleção de prestadores de serviços de TI. O último capítulo conclui o trabalho, apresenta críticas ao modelo formulado e dá sugestões de estudos futuros e melhoramentos no modelo.

2 DECISÃO MULTICRITÉRIO

“Uma boa decisão deve ser consequência lógica daquilo que se quer, daquilo que se sabe e daquilo que se pode fazer” (CAMPELLO DE SOUZA, 2007). Buscando abordar o tema com a simplicidade deste autor, este capítulo trata da Tomada de Decisão Multicritério a partir de uma introdução às situações multicritério, seguida de uma breve revisão dos principais métodos disponíveis na literatura e da descrição do método de elicitación de preferências que é utilizado no modelo proposto.

2.2 Decisão Multicritério

De acordo com Bana e Costa (1995 *apud* SCHMIDT, 1995)

A tomada de decisão é de fato parte integrante da vida cotidiana. Mas é também uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que temos naturalmente de escolher não apenas entre alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações, e por fim, de considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com a decisão a tomar.

Situações de decisão onde existe apenas um critério não requerem a mesma análise detalhada das situações multicritério. Por exemplo: se uma pessoa deseja comprar o carro mais econômico em termos de consumo de combustível, o que ela precisa fazer é buscar dados referentes a esta característica na literatura especializada no tema e efetuar a compra. Neste exemplo e em demais situações onde se deseja levar em conta apenas um critério a escolha é geralmente direta. Diferentemente, se uma pessoa de família grande deseja comprar o carro com menor consumo de combustível e mais espaço interno, a mesma encontra-se numa situação onde deve levar em conta dois critérios conflitantes, uma vez que carros maiores geralmente são mais pesados e apresentam maior resistência ao ar, sendo conseqüentemente menos econômicos. Esta situação, se comparada com uma decisão onde existe apenas um critério, requer uma análise mais apurada dos dados uma vez que, mesmo que o comprador possua todos os dados disponíveis sobre os critérios que deseja considerar, talvez nenhuma alternativa domine todas as outras e inexista uma opção de escolha direta.

Decisões multicritério estão presentes diariamente na vida de todos, e são muito mais reais do que as decisões onde (pode-se imaginar que) há apenas um critério. São exemplos destas situações:

- Escolha da rota para um deslocamento em automóvel de casa para o trabalho, em que uma alternativa é mais curta, porém mais lenta e a outra é mais longa, porém seu percurso é realizado em menos tempo;
- Escolha de um notebook que seja leve, pequeno e tenha grande poder de processamento e armazenagem de dados (geralmente tamanho e peso são características conflitantes com poder de processamento e capacidade de armazenagem de dados);
- Decisão por que fonte energética inserir na matriz de um país, tendo como opções hipotéticas uma grande usina hidrelétrica (que inundaria uma comunidade trazendo grandes problemas sociais, porém que é considerada energia limpa e barata), uma usina nuclear (que apesar de não emitir CO₂ pode causar tragédias radioativas em caso de acidentes e que não conta com uma solução definitiva para os resíduos tóxicos) e uma termoelétrica por queima de carvão mineral (altamente poluente, mas com menor preço por kWh).

Como pode-se perceber, o que diferencia a tomada de decisão nestas situações é principalmente a complexidade devida ao grau do impacto que cada uma pode causar. Enquanto no primeiro caso cada alternativa pode ser experimentada e a escolha por uma das alternativas possíveis não deve trazer grandes prejuízos, no último trata-se de uma decisão que envolve um alto investimento financeiro, um longo prazo de implementação e extensão dos possíveis impactos sócio-ambientais por muitas décadas. Tomar uma decisão complexa como a última é, segundo Gomes *et al* (2006), uma tarefa extremamente difícil, uma vez que estão presentes múltiplos objetivos e que as consequências desta decisão são de difícil mensuração. São nas situações de alta complexidade onde se necessita de maior assertividade, e onde os métodos de apoio à decisão multicritério recebem mais atenção. Na próxima seção, faz-se uma breve descrição de alguns dos métodos mais citados na literatura.

2.2 Métodos de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA)

Para Buchanan e Henig (1994 *apud* GOMES *et al* 2006), uma boa metodologia de apoio à decisão deve ir além da identificação das alternativas, explorando também o decisor a partir do estudo de suas preferências. Pode-se definir Método de Apoio à Decisão Multicritério

como uma ferramenta que visa auxiliar o processo decisório promovendo o aumento na capacidade do tomador de decisão em avaliar seus critérios e as alternativas disponíveis e contribuindo para que o mesmo seja capaz de optar pela alternativa que lhe trará maiores benefícios. O bom método de apoio à decisão deve conseguir isso da maneira mais eficiente possível, e desta definição podemos levantar alguns pontos:

- O método deve se relacionar intimamente com o decisor e com o meio ambiente, agindo como elo entre estes dois componentes da decisão. Em outras palavras, deve ser capaz de interagir com as preferências do decisor e com as alternativas de decisão, ou mais precisamente com o valor percebido destas alternativas para cada critério avaliado;
- A exigência da eficiência do apoio a decisão refere-se primeiramente a eficácia (o método deve ser capaz de identificar uma ou mais alternativas que não sejam dominadas, caso contrário daria chance ao decisor de optar por uma alternativa que não lhe traria os maiores benefícios) e depois a forma como esse método atinge tal eficácia. De pouco será útil um método de apoio à decisão que requeira esforços demasiados por parte do decisor para compreendê-lo e/ou utilizá-lo, pois, se assim for, o decisor provavelmente optará por outros métodos para auxiliar sua decisão.

Os métodos de apoio à decisão mais conhecidos dividem-se em duas escolas: A Escola Americana e a Escola Francesa. A Escola Americana engloba os métodos que sintetizam os critérios em uma única função utilidade, e é representada principalmente pelo MAUT – Sigla em inglês para Teoria da Utilidade Multiatributo, o único método que carrega o status de teoria. Nele, os critérios considerados no problema de decisão são agregados em uma única função utilidade de acordo com as preferências do decisor (MIRANDA e ALMEIDA, 2004). Já a Escola Francesa trata o problema de decisão multicritério a partir da construção de relações de sobreclassificação e da atribuição de pesos a cada critério. Os principais representantes desta escola são os métodos PROMETHEE – *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*, proposto por Brans & Vincke em 1985 e ELECTRE - *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* (ALMEIDA e COSTA, 2002).

Este trabalho utiliza uma ferramenta chamada *Swing Weights* (ou troca de pesos, autor desconhecido), contida no método SMARTS – acrônimo de *Simple Measure Rating Technique Using Swings* proposto por Edwards & Barron (1994). Esta técnica foi escolhida porque, entre as metodologias já consagradas de elicitación de preferências, a *Swing Weights*

destaca-se por sua simplicidade de aplicação, envolvendo questões facilmente transmitidas ao decisor, o que aumentando as chances de sucesso no processo de identificação de preferências (VALOIS e ALMEIDA, 2009). A próxima seção descreve brevemente a técnica de troca de pesos.

2.3 Método Swing Weights de Elicitação de Preferências

É amplamente discutida na literatura a dificuldade de se obter preferências do decisor em forma de pesos para critérios, e por isso vários métodos foram propostos com o intuito de apoiar o processo de obtenção destes pesos. A técnica *Swing Weights* considera que as medidas disponíveis para os atributos que estão sendo avaliados foram transformadas satisfatoriamente em utilidades unidimensionais (sugere-se que sempre que possível utilize-se a técnica da aproximação heróica, Edwards & Barron 1994). O procedimento de Troca de Pesos divide-se em duas etapas (EDWARDS E BARRON 1994):

a) Ordenação dos critérios – trata-se de um procedimento para criar uma ordem de importância dos critérios aos olhos do decisor. O procedimento inicia-se sugerindo ao decisor que considere uma alternativa que possui o pior valor em utilidade unidimensional (tipicamente zero) em todos os critérios. Pede-se então ao decisor que escolha um critério desta alternativa hipotética para alterar sua utilidade unidimensional para o melhor valor possível (tipicamente 100). Depois de alterado o valor da utilidade, exclui-se esse critério e solicita-se ao decisor que repita o procedimento para a lista de critérios restantes. Realizando-se tal operação todos os critérios da alternativa hipotética terão suas utilidades aumentadas para 100, e a ordem na qual foi realizado este aumento retrata a ordem de importância dos critérios aos olhos do decisor.

b) Estabelecimento dos pesos dos critérios – esta etapa pode ser realizada via “estimação direta de magnitude” ou por “julgamentos de indiferença”. Segundo Edwards & Barron (1994), a maioria dos decisores preferem e têm mais confiança na primeira forma, e por isso essa é a forma mais recomendada. Para realizar o levantamento dos pesos por “estimação direta” pede-se que o decisor considere uma escala onde o critério de maior importância (segundo a ordem gerada na etapa ‘a’) possua peso 100, e um critério hipotético sem qualquer importância para o decisor possua peso 0 (zero). Pergunta-se então ao decisor, nesta escala considerada, qual o peso de uma troca de 100 pontos (de zero para 100) no segundo critério mais importante. Procede-se com estas perguntas até esgotarem-se os

critérios. Normalizam-se então as respostas e obtêm-se os pesos para cada critério, pesos estes que formarão o “vetor de pesos desejados”.

3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Este capítulo contém o embasamento teórico necessário à compreensão da Análise Envoltória de Dados, o detalhamento do modelo original deste método no qual se fundamenta parte do modelo proposto e também uma seção sobre as possibilidades de integração entre Análise Envoltória de Dados e Apoio Multicritério à Decisão.

A Análise Envoltória de Dados (DEA), método criado por Charnes *et al* (1978), surgiu com o objetivo de mensurar a eficiência Unidades Tomadoras de Decisão (DMU) sem que seja necessário definir pesos arbitrariamente para os critérios em avaliação. Para que seja possível o uso da Análise Envoltória de Dados, deve-se encontrar o conjunto de *inputs* e *outputs* que caracterizam a eficiência das DMUs. A tabela 3.1 expõe exemplos de alguns grupos que podem ser avaliados com uso de DEA:

Tabela 3.1 – Exemplos de grupos que podem ser avaliados com uso de DEA.

Grupo	Possíveis Inputs	Possíveis Outputs
Cursos de graduação	<ul style="list-style-type: none"> • Orçamento anual • Número de professores-hora 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação no Enad • Percentual de alunos formados no tempo correto
Aparelhos condicionadores de ar	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de energia • Ruído • Preço 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de refrigeração • Vida útil
Notebooks	<ul style="list-style-type: none"> • Peso • Preço • Produção de calor 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de processamento • Duração da bateria • Design

Tomando-se como base o primeiro exemplo, cada curso de graduação é uma DMU que pode ser avaliado por seus inputs e outputs, e a eficiência de cada curso pode ser medida pelo orçamento anual e número de professores-hora que o mesmo necessita para atingir sua avaliação no Enad e o seu percentual de alunos formados no tempo correto. Como em qualquer avaliação de custo-benefício, DEA realiza medidas de eficiência das unidades em avaliação a partir do cálculo da capacidade que cada unidade possui de minimizar seus *inputs* ao mesmo tempo em que *maximiza* seus outputs. A forma mais comum de avaliação quantitativa em situações deste tipo é agregação aditiva. Por exemplo, no caso da avaliação de aparelhos de ar-condicionado, pode-se mensurar cada critério (*inputs* e *outputs*) e atribuir pesos a esses. Feito isso, o somatório da avaliação de cada critério multiplicada por seu respectivo peso é uma forma de avaliação dessas unidades.

Este método requer uma atribuição arbitrária de pesos para cada input/output. Ao contrário disso, para medir a eficiência de DMUs, a Análise Envoltória de Dados permite que cada unidade escolha livremente o esquema de pesos que dará aos seus inputs e outputs para que estas busquem se beneficiar ao máximo de suas características, desde que nenhuma outra unidade em avaliação atinja mais de 100% de eficiência com o mesmo esquema de pesos (LINS e MEZA, 2000). Outra característica importante em DEA é que este método faz uma comparação relativa entre unidades, e seu resultado não é válido além do conjunto avaliado. Em outras palavras, DEA indica de forma relativa que unidades são eficientes ou ineficientes dentro de um determinado conjunto, porém, se uma DMU é inserida ou excluída do conjunto avaliado os resultados não são mais válidos. Em relação ao exemplo dos condicionadores de ar, se três modelos forem avaliados e um for considerado eficiente, não é necessariamente verdade que este modelo será considerado eficiente se comparado com outros aparelhos posteriormente.

O fato de DEA permitir que cada DMU escolha seu próprio esquema de pesos possui algumas implicações importantes:

- Não requer intervenção arbitrária na definição de pesos para os critérios de avaliação;
- Facilita a identificação de alternativas dominadas no conjunto avaliando, uma vez que se uma unidade é considerada ineficiente mesmo com o esquema de pesos que maximiza seu desempenho, a mesma não será eficiente com nenhum outro esquema de pesos, o que indica que dentro do conjunto em avaliação existe pelo menos uma alternativa que domina esta unidade.

3.1 O Modelo Clássico

O principal modelo de Análise Envoltória de Dados é chamado de modelo CCR, em referência aos seus autores Charnes, Cooper e Rhodes. Sua proposta é relacionar a eficiência de DMUs a partir da máxima proporção ponderada entre seus outputs e inputs que cada DMU pode alcançar. Essa proporção é encontrada resolvendo-se o problema de programação linear PPL abaixo (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978):

$$\text{Max } h_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (3.1)$$

sujeito à:

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \leq 1 \quad k = 1..n$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall j, i$$

Onde:

$k = 1..n$ representa o conjunto de DMU's;

h_0 é a medida de eficiência da DMU 0;

u_j é peso do output j ;

v_i é peso do input i ;

y_{j0} é o valor do output j na DMU 0;

x_{i0} é o valor do input i na DMU 0;

Este PPL tem infinitas resoluções, porém o mesmo pode sofrer sem prejuízos uma transformação linear que fixa o valor do denominador da função objetivo, transformando-se no problema abaixo:

$$\text{Max } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \tag{3.2}$$

sujeito à:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0 \quad k = 1..n$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall j, i$$

A resolução deste problema calcula a maior proporção possível entre os outputs e os inputs da DMU 0, o que é a medida de eficiência técnica na Análise Envoltória de Dados. Para completar a análise, deve-se resolver este problema para cada DMU do conjunto em avaliação. Todos os resultados estarão entre zero e uma unidade (100%), e aquelas que atingirem 100% são consideradas eficientes, enquanto que as demais são ditas ineficientes e são dominadas por pelo menos uma alternativa presente no conjunto em questão.

Há diversos enfoques e interesses em DEA, e enquanto que para os estatísticos DEA é utilizado como ferramenta para análise exploratória de dados, para os matemáticos DEA pode ser visto como uma técnica para determinar soluções não dominadas em um problema de

decisão Multicritério (Laurence e Seiford, 1990 *apud* LINS e ANGULO MEZA, 2000). Este último aspecto é o que este trabalho pretende explorar e o mesmo é descrito brevemente na próxima seção.

3.2 Integração entre DEA e Apoio à Decisão Multicritério (MCDA)

Como colocado por Gomes *et al* (2000), apesar de originalmente DEA e MCDA possuírem interesses distintos, muitas são as possibilidades de integração entre estas duas áreas. Enquanto que o objetivo dos modelos clássicos de Análise Envoltória de Dados é determinar se uma DMU é ou não eficiente, a meta das ferramentas de Apoio à Decisão Multicritério é auxiliar o tomador de decisões a compreender melhor seu conjunto de alternativas estabelecendo comparações entre elas. Mais a fundo, o problema a ser solucionado geralmente é a escolha de um conjunto o mais reduzido possível de alternativas ou mesmo a ordenação total desse conjunto de alternativas da mais preferível à menos preferível, segundo o ponto de vista do decisor. Como pode ser visto, a principal diferença entre DEA e MCDA é que DEA não leva em conta julgamentos provenientes do decisor¹, enquanto que em MCDA esta característica geralmente é a mais importante (WONG, LUQUE e YANG, 2009).

Segundo Lins e Meza (2000), a agilidade e simplicidade com que DEA é capaz de mensurar a eficiência de DMU's despertaram o interesse no uso deste método como ferramenta de MCDA. Para que isso se torne possível, algumas modificações nos modelos clássicos de DEA precisaram ser realizadas, pois os julgamentos de valor dos decisores precisavam ser mais presentes. Em DEA, a possibilidade de uma unidade escolher seu esquema de pesos, apesar de ser bastante útil na identificação de unidades ineficientes, mostra-se um limitador do uso da Análise Envoltória de Dados como ferramenta de Apoio Multicritério a Decisão. Isto ocorre porque a liberdade de escolha dada a cada unidade pode permitir que essa atribua valores a seus pesos que vão de encontro às preferências do decisor. Em outras palavras, critérios de menor importância aos olhos do decisor podem dominar a medida de eficiência da unidade, enquanto outros mais importantes podem ter sua relevância diminuída ou até mesmo negada ao ter zero como seu peso escolhido.

Algumas alterações nos modelos DEA clássicos foram propostas na busca por diminuir esta liberdade em relação à escolha dos pesos, sendo a mais comum chamada de Restrição

¹ Na verdade, ao selecionar as variáveis que farão parte da Análise Envoltória de Dados, definindo-as como inputs ou outputs, está ocorrendo uma interferência humana que pode ser considerada como julgamento de valor.

Direta nos Pesos, de Dyson e Thanassoulis (1988 apud LINS e MEZA, 2000)², onde os pesos de cada input/output são limitados a um intervalo visando impedir que os mesmos confirmem as suas respectivas variáveis uma importância maior ou menor do que aquela que o decisor considera justa (THANASSOULIS e ALLEN, 1988). Esta proposta, apesar de ser a mais intuitiva dentre as encontradas na literatura, esbarra na necessidade de se estabelecer para cada critério dois valores limites que devem levar em conta a relação entre os critérios, e não serem vistos individualmente. Em outras palavras, limites para determinado critério só fazem sentido se possuírem relação direta com os limites dos demais critérios. Além disso, estabelecer limites impõe uma rigidez ao PPL que só seria razoável se o decisor pudesse escolhê-los com alta precisão, o que é bastante improvável numa situação com grande número de variáveis. No contexto da tomada de decisão gerencial, a dificuldade de conseguir que gestores compreendam e confiem na restrição de pesos e ainda de extrair desses tomadores de decisão limites precisos para os pesos de cada critério põe em dúvida a aplicabilidade da técnica de Restrição Direta nos Pesos.

Descrito na próxima seção, o modelo proposto neste trabalho modifica o modelo clássico da Análise Envoltória de Dados para que o mesmo passe a considerar julgamentos de valor do decisor sem perder sua simplicidade e agilidade, conferindo a esta ferramenta a característica de ferramenta de apoio a decisão multicritério.

² Descrições de outros trabalhos que visam reduzir a variabilidade nos pesos dos inputs e outputs podem ser encontradas em LINS E MEZA (2000).

4 MODELO DA MÁXIMA CORRELAÇÃO COM ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E TROCA DE PESOS

Este capítulo trata do modelo proposto, relatando a motivação para formulação do mesmo, introduzindo o Coeficiente de Correlação de Spearman e descrevendo as etapas para aplicação do modelo de apoio à decisão. Ao final, encontra-se uma aplicação do modelo proposto na seleção de prestadores de serviços de TI

4.1 Motivação para construção do modelo

Apesar da grande capacidade da Análise Envoltória de Dados de identificar alternativas não dominadas, alguns requisitos para que esta técnica seja utilizada como método de apoio à decisão não estão presentes em seus modelos clássicos, a saber (GOMES *et al*, 1999 *apud* LINS e MEZA, 2000):

- Poder de discriminação das melhores alternativas – É comum na avaliação de eficiências com uso de modelos clássicos de Análise Envoltória de Dados que mais de uma alternativa seja classificada como 100% eficiente, caracterizando um “empate” entre estas alternativas Sarkis (2000);
- Participação humana no processo decisório – É fundamental para uma ferramenta de apoio a decisão que a mesma considere as preferências do decisor a respeito dos critérios considerados, porém os modelos clássicos de Análise Envoltória de Dados não fazem nenhuma distinção em relação aos mesmos, tratando-os igualmente;

Na busca por suprir estes requisitos este trabalho propõe um modelo que aumenta a capacidade de discriminação de alternativas ao mesmo tempo em que insere julgamentos de valor do decisor, o que confere à Análise Envoltória de Dados a característica de ferramenta de Apoio Multicritério à Decisão. A metodologia escolhida para alinhar as preferências do decisor com a Análise Envoltória de Dados utiliza o Coeficiente de Correlação de Spearman. Esse coeficiente foi escolhido como alternativa à Restrição Direta nos Pesos de Dyson e Thanassoulis (1988) por ser um procedimento mais simples e menos restrito. Utilizando-se a correlação de Spearman não haverá um intervalo rígido no qual os pesos deverão inserir-se, mas sim uma relação entre estes que deverá ser buscada. Sob a ótica do decisor, o mesmo não precisará fornecer dois valores para limitar os pesos, mas apenas um valor considerado ideal. Esta característica é mais um fator que contribui para a simplificação do processo decisório e

umenta a possibilidade de aplicação do modelo proposto. No mesmo contexto, para identificar as preferências do decisor, o modelo proposto utiliza a técnica *Swing Weights* (ou troca de pesos) por causa das facilidades existentes na aplicação da mesma.

4.2 Descrição Modelo

Para o entendimento do modelo proposto, além de conhecimentos sobre Decisão Multicritério e Análise Envoltória de Dados, faz-se necessário uma introdução ao coeficiente de correlação de Spearman, detalhado a seguir.

4.2.1 Coeficiente de Correlação de Spearman

Os coeficientes de correlação de Spearman e o de Pearson são utilizados quando se deseja identificar o grau em que duas variáveis aleatórias estão correlacionadas, sem necessariamente estabelecer uma relação de causa e efeito. Este grau pode variar de -1 a 1, onde (RESTREPO B. e GONZÁLEZ L., 2007):

- Grau de correlação = -1 significa que há uma correlação inversa perfeita, indicando que quando uma variável decresce a outra variável cresce (ou vice-versa);
- Grau de correlação = 1 significa que há uma correlação direta perfeita, indicando que as duas variáveis crescem ou decrescem de forma conjunta;
- Grau de correlação = 0 indica ausência de correlação;

O coeficiente de Spearman possui algumas vantagens em relação ao de Pearson, pois, sendo um coeficiente não paramétrico, o mesmo não exige que as variáveis estejam normalmente distribuídas e, além disso, não é requerido que a correlação a ser estudada seja do tipo linear (RESTREPO B. e GONZÁLEZ L., 2007). Ambas as vantagens são importantíssimas no contexto abordado, e os vetores presentes no modelo não poderiam ter sua correlação estudada pelo coeficiente de Pearson, pois não atendem as exigências impostas por tal coeficiente. Sendo assim, utilizou-se no presente trabalho o coeficiente de Spearman.

O coeficiente de correlação de Spearman analisa vetores de variáveis aleatórias a partir de comparações entre os postos de cada observação. Entretanto, no presente trabalho, utiliza-se a expressão matemática deste coeficiente para medir a relação entre dois vetores de pesos a partir da comparação entre os postos relacionados a estes pesos. Considera-se que, ao se estabelecer pesos para um conjunto de critérios, o decisor estabelece uma ordem de importância para estes critérios. Conhecendo-se esta ordem é possível realizar comparações com outros vetores de pesos utilizando-se o coeficiente de Spearman para inferir o grau em

que diferem as ordens (postos) relacionadas aos pesos destes vetores e a ordem relacionada ao vetor de pesos definido pelo decisor. A seguir encontra-se a expressão matemática do coeficiente de Spearman (SPEARMAN, 1904):

$$R = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.1)$$

Onde d_i é a diferença entre os postos (*rank*) das observações nas variáveis em estudo e n é o número de observações (SPEARMAN, 1904; RESTREPO B. e GONZÁLEZ L., 2007).

4.2.2 Etapas do modelo proposto

O Modelo da Máxima Correlação (MR) com Análise Envoltória de Dados (DEA) e Troca de Pesos (SW) divide-se em três etapas descritas a seguir:

- I. Eliminação das alternativas dominadas - Utiliza-se o algoritmo DEA CCR com o intuito de reduzir o conjunto de alternativas, eliminando-se a partir deste ponto todas aquelas que não forem eficientes. Este passo é feito sem interferência do decisor, uma vez que uma unidade tem sua eficiência classificada em DEA independentemente de quaisquer julgamentos de valor. Com esse passo reduz-se o trabalho computacional e o estresse do decisor em ter que avaliar um conjunto muito amplo de alternativas, simplificando assim o processo decisório.
- II. Identificação dos julgamentos de valor do decisor - Utiliza-se a técnica de Troca de Pesos para identificar o vetor de pesos desejados p . Este é o passo onde o decisor exprime suas preferências. Graças à simplicidade e rapidez da Troca de Pesos, o decisor provavelmente se mostrará receptivo ao processo de elicitação dos mesmos.
- III. Incorporação dos julgamentos de valor à Análise Envoltória de Dados – Neste último passo altera-se o modelo DEA CCR da seguinte forma:
 - a. A função objetivo original passa agora a ser uma restrição, forçando que as unidades permaneçam 100% eficientes. Esta alteração tem como objetivo restringir as variações nos pesos dos critérios de forma que durante a resolução do problema de programação as alternativas restantes sejam impedidas de escolher combinações de valores para os seus pesos que as tornem ineficientes.

Nova restrição:

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} = 100\% \quad (4.2)$$

- b. A função objetivo passa a ser maximizar a Correlação de Spearman (equação 4.1) entre o vetor de pesos desejados p (obtido na etapa II) e os pesos atribuídos aos critérios. Em outras palavras, a nova função objetivo será então escolher, dentre os possíveis vetores de pesos que fazem a eficiência da alternativa ser máxima, aquele que otimiza o Coeficiente de Correlação de Spearman entre este vetor e o vetor de pesos desejados. A resolução do problema orientada para esta nova função objetivo retorna como resultado um número variando entre -1 e +1. Este número é uma medida do grau de que a alternativa é capaz de ordenar os pesos de seus critérios, de modo a igualar-se com a ordenação dos pesos dos critérios estabelecida pelo decisor na etapa II. Um valor de -1 indica que a ordem dos pesos da alternativa avaliada é completamente oposta a ordem dos pesos do vetor estabelecido pelo decisor, enquanto que um valor de +1 indica que a ordem é completamente igual àquela estabelecida pelo decisor.

Nova Função Objetivo:

$$Max R = 1 - \frac{6 \times \sum_{c=1}^n d_c^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.3)$$

Onde d_c é a diferença entre os postos dos pesos de cada critério c dos vetores de pesos da unidade (inputs v_i e outputs u_j) e do vetor de pesos desejados (p). Note-se que $n = m + s$ (número total de critérios de input/output). Essa função objetivo premia as alternativas que forem capazes de estabelecer uma relação entre os pesos de seus critérios condizente com a relação entre os pesos estabelecidos pelo decisor. Sendo assim, após a eliminação das alternativas não-dominadas e a identificação dos julgamentos de valor do decisor, o problema de programação a ser resolvido é o descrito a seguir:

$$\text{Max } R_0 = 1 - \frac{6 \times \sum_{c=1}^n d_c^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.4)$$

sujeito à:

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} = 100\%$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall j, i.$$

Assim como no modelo DEA CCR, a solução de problema de maximização calculará o máximo coeficiente de correlação para uma alternativa, devendo esse procedimento ser repetido para as alternativas restantes.

4.3 Discussão do modelo de decisão proposto

A solução de um problema de decisão com o modelo proposto neste trabalho traz como resultado inicial a exclusão das alternativas de decisão dominadas do conjunto de alternativas a ser considerado e apresentado ao decisor. Esta primeira etapa requer apenas que sejam identificados os desempenhos de todos os critérios para cada alternativa, papel que pode ser cumprido por um especialista no assunto. Em seguida o decisor é consultado sobre suas preferências, ou seja, sobre que importância cada critério que está sendo avaliado deve receber, e para facilitar a identificação destas preferências o modelo propõe o uso da técnica Swing Weights. A última etapa do modelo é novamente computacional. Nesta etapa, um problema de maximização é responsável por incorporar os julgamentos de valor identificados na etapa anterior à Análise Envoltória de Dados, e o resultado é uma ordenação completa das alternativas em função da sua capacidade de ajustar os pesos de seus critérios de acordo com as preferências do decisor. Ao final, sugere-se então que o decisor opte pela alternativa de maior coeficiente de correlação calculado, pois, já que as alternativas continuaram classificadas como eficientes segundo a Análise Envoltória de Dados, garante-se que

nenhuma outra pertencente ao conjunto inicial estará mais próxima daquilo que é desejado pelo decisor.

Em relação aos modelos já existentes que utilizam DEA como método de apoio multicritério a decisão, o modelo proposto contribui ao viabilizar a introdução de julgamentos de valor do decisor a partir da definição de pesos para os critérios por parte do mesmo sem que se tenha que recorrer ao sistema de estabelecimento de limites rígidos para estes pesos. Uma segunda contribuição é a definição de uma metodologia simples e eficaz de elicitación de preferências que foi incorporada ao modelo de forma bem sucedida.

4.4 Uma aplicação do modelo proposto na seleção de prestadores de serviços de hospedagem de sites

O modelo proposto foi aplicado em uma empresa do setor de serviços da área de educação com a finalidade de escolher um servidor para hospedagem de sua página web. Inicialmente foram levantados os dez maiores prestadores nacionais deste tipo serviço, delimitando-se assim o conjunto de alternativas (unidades). Inicialmente um especialista em Tecnologia da Informação desta empresa, então responsável pelo projeto de contratação do serviço, foi entrevistado buscando-se contextualizar o serviço de hospedagem de páginas web. Foi relatado pelo especialista que, considerando-se as necessidades previstas para o período de 12 meses, apenas planos de hospedagem que disponibilizassem ao menos 1 gigabyte para alocação de páginas deveriam ser considerados. Seguindo-se a entrevista, o especialista enumerou os demais critérios que deveriam ser observados, a saber:

- Preço anual do serviço em reais – valor a ser pago anualmente pela contratação do serviço de hospedagem de sites;
- Limite mensal de transferência de dados em gigabytes – limite para o volume de dados trafegados entre o servidor contratado os usuários do site hospedado;
- Número de caixas postais inclusas – número de endereços de e-mail inclusos no plano de hospedagem;
- Espaço disponível por caixa postal em megabytes – quantidade máxima de dados que pode ser arquivada em cada caixa postal disponibilizada;
- Número de usuários de FTP disponibilizados – número de contas disponibilizadas para acesso ao conteúdo do site via *File Transfer Protocol*;
- Número de domínios permitidos – quantidade de sites que podem ser hospedados pela contratação de num único serviço de hospedagem;

- Características do *Data Center* – considera se o *Data Center* é próprio ou terceirizado e o nível de serviço garantido.
- Características do suporte – acessibilidade e disponibilidade da central de suporte ao usuário;
- Tamanho da empresa – Porte da empresa e carteira de clientes

Ainda com ajuda do especialista, por meio de comparação entre as 10 empresas pré-selecionadas, foram estabelecidos os desempenhos de cada empresa em cada critério. Por exemplo: se no critério “Suporte” certo plano de uma empresa candidata apresentasse a possibilidade de atendimento 24 horas por telefone, a mesma receberia nota 1 (máximo), mas se possuísse apenas suporte por telefone em horário comercial, receberia nota 0,5 (meio). Ou ainda: se um plano de hospedagem possibilitasse acesso a apenas um usuário de FTP sem opção de expansão receberia nota 0,5, mas se oferecesse acesso a um número ilimitado de usuários de FTP receberia nota 1 (máximo). Com base neste levantamento dos critérios das unidades avaliadas chegou-se a seguinte tabela de desempenhos:

Tabela 4.1 - Desempenho dos critérios das unidades em avaliação

Crítérios \ Empresa	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
R\$ / Ano	0,13	0,08	0,30	0,06	0,10	0,06	0,12	0,06	0,04	0,04
Data Center	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Espaço (GB) / Cx Postal	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,25	0,50	1,00	1,00	1,00
Espaço Site (GB)	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00
Nº de Caixas Postais	0,25	0,25	0,30	0,30	0,50	0,15	0,40	1,00	1,00	0,30
Nº de Domínios	1,00	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	1,00	1,00
Suporte	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50
Tamanho	1,00	0,40	0,14	0,11	0,09	0,08	0,02	0,01	0,01	0,00
Transf (GB) / Mês	0,83	0,33	0,17	1,00	0,67	0,17	0,83	0,00	0,40	0,06
Usuários de FTP	0,75	0,10	0,10	0,50	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	1,00

De todos os critérios listados na tabela 4.1, segundo o especialista, apenas o preço anual deveria ser minimizado. Sendo assim, este ficou caracterizando como *input*, enquanto que os demais foram caracterizados como *outputs*. Seguindo-se a metodologia proposta no modelo desenvolvido, o primeiro passo foi utilizar o algoritmo DEA CCR para reduzir o conjunto de alternativas eliminando-se aquelas que não são eficientes (alternativas dominadas). O resultado pode ser visualizado a seguir:

Tabela 4.2 - Eficiência (DEA) das unidades em avaliação.

Empresa	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Eficiência	100,0%	100,0%	17,2%	100,0%	56,3%	91,5%	53,6%	66,3%	100,0%	100,0%

Pode-se perceber na tabela 4.2 que o conjunto de unidades eficientes engloba apenas as unidades A, B, D, I e J, demonstrando a possibilidade de redução do conjunto de alternativas a partir da aplicação da Análise Envoltória de Dados. Porém, após a resolução do PPL do DEA CCR, ainda restaram cinco alternativas 100% eficientes no problema de decisão, e por isso houve necessidade continuar a execução do método proposto a fim de identificar a solução mais adequada.

Na próxima etapa da resolução do problema de decisão, estabeleceu-se o vetor de pesos desejados de acordo com as preferências do decisor. Para tal, foi aplicada a técnica *Swing Weights*, e neste momento o decisor inseriu seus julgamentos de valor no processo decisório, conferindo ao mesmo a característica de ferramenta de Apoio Multicritério a Decisão não presente no DEA CCR. O resultado da elicitação dos julgamentos de valor do decisor em relação ao peso dos critérios é exibido na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Vetor de pesos desejados.

Crítérios	Pesos	Pesos Normalizados
R\$ / Ano	75	0,11905
Data Center	75	0,11905
Espaço (GB) / Cx Postal	50	0,07937
Espaço Site (GB)	50	0,07937
Nº de Caixas Postais	30	0,04762
Nº de Domínios	70	0,11111
Suporte	90	0,14286
Tamanho	100	0,15873
Transf (GB) / Mês	20	0,03175
Usuários de FTP	70	0,11111

O passo seguinte na aplicação do modelo MR-DEA-SW foi calcular a máxima correlação entre os pesos dos critérios de cada empresa eficiente e o vetor de pesos desejados. Os resultados encontram-se na tabela 4.4 e figuras 4.1 a 4.5.

Tabela 4.4 - Máxima correlação de Spearman

Empresa	A	B	D	I	J
Correlação	0,9455	0,8939	0,6788	0,9242	0,8455

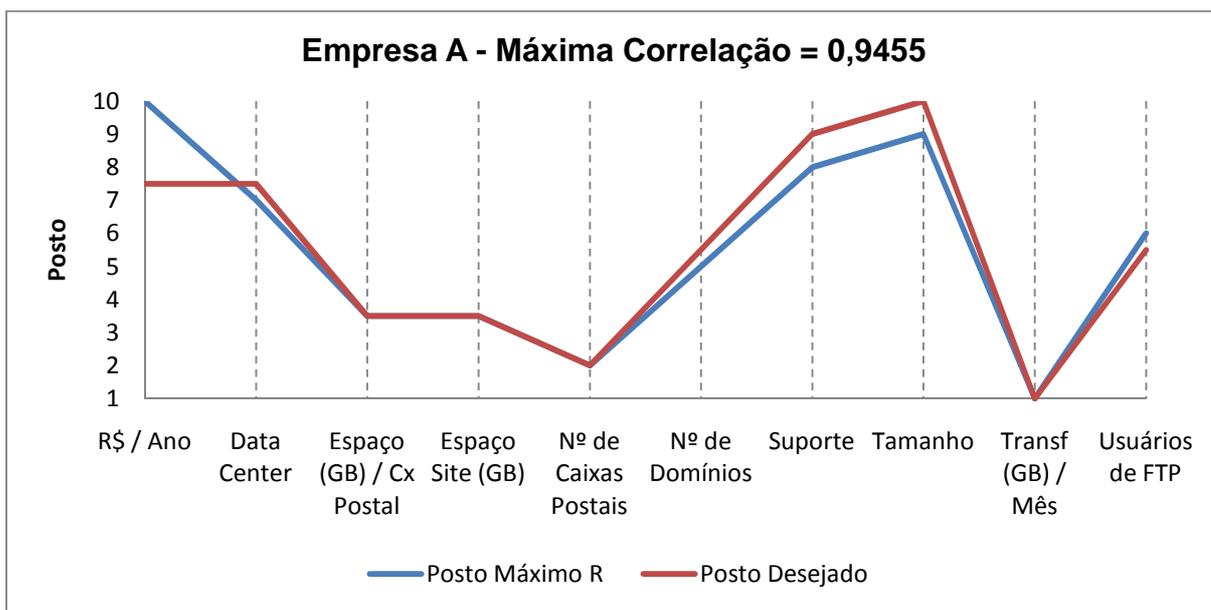


Figura 4.1- Pesos ótimos para Empresa A versus pesos desejados pelo decisor.

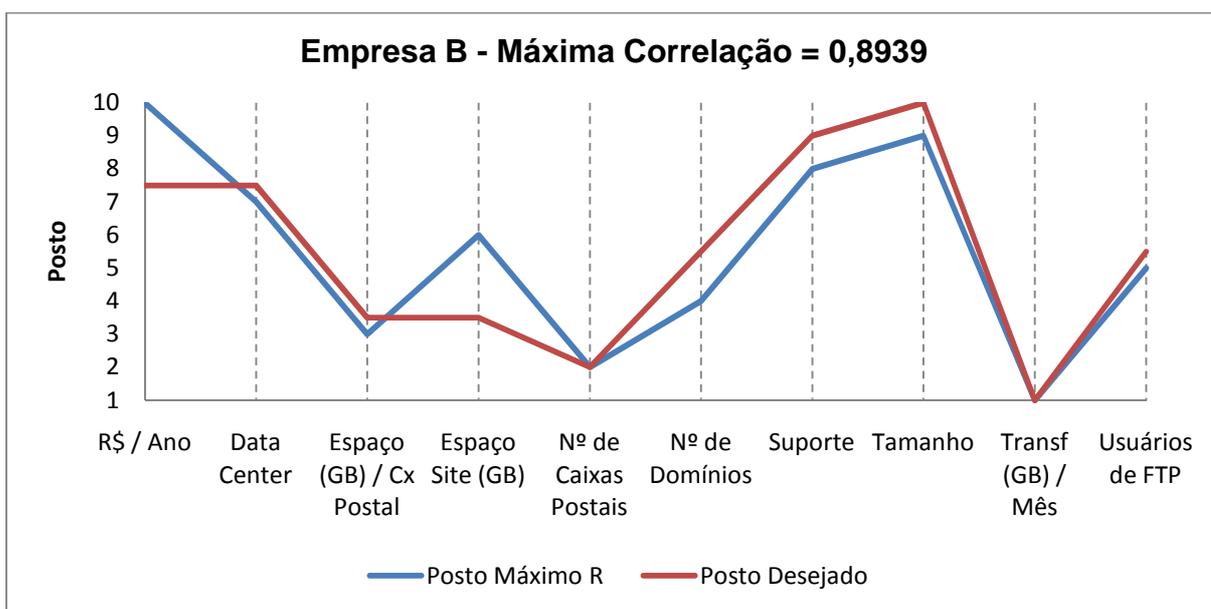


Figura 4.2- Pesos ótimos para Empresa B versus pesos desejados pelo decisor.

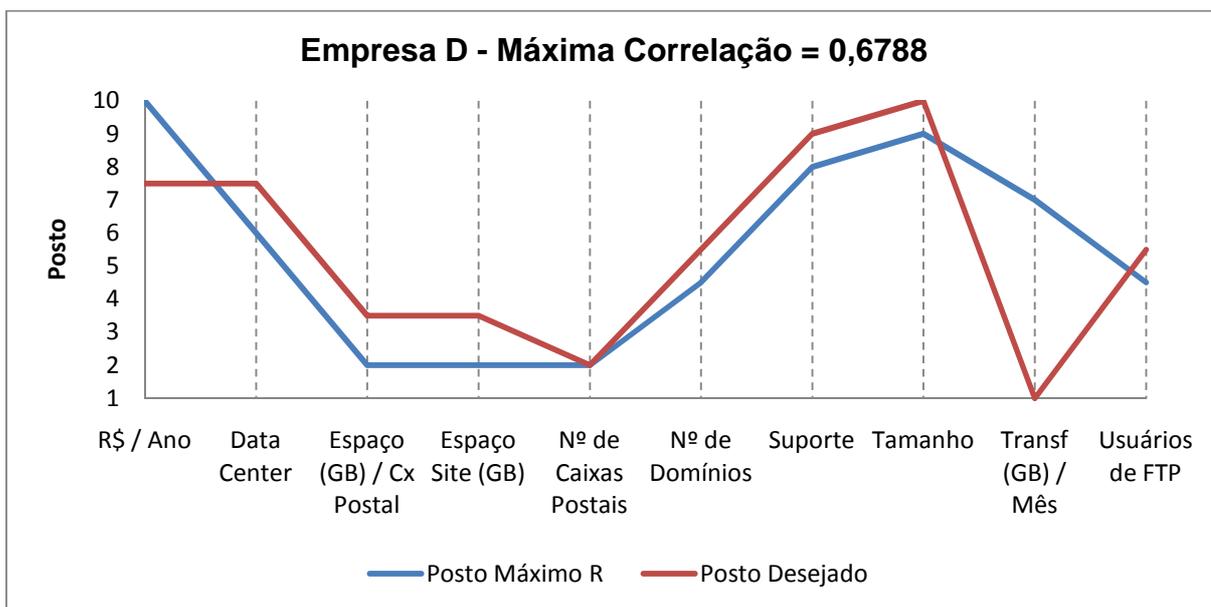


Figura 4.3- Pesos ótimos para Empresa D versus pesos desejados pelo decisor.

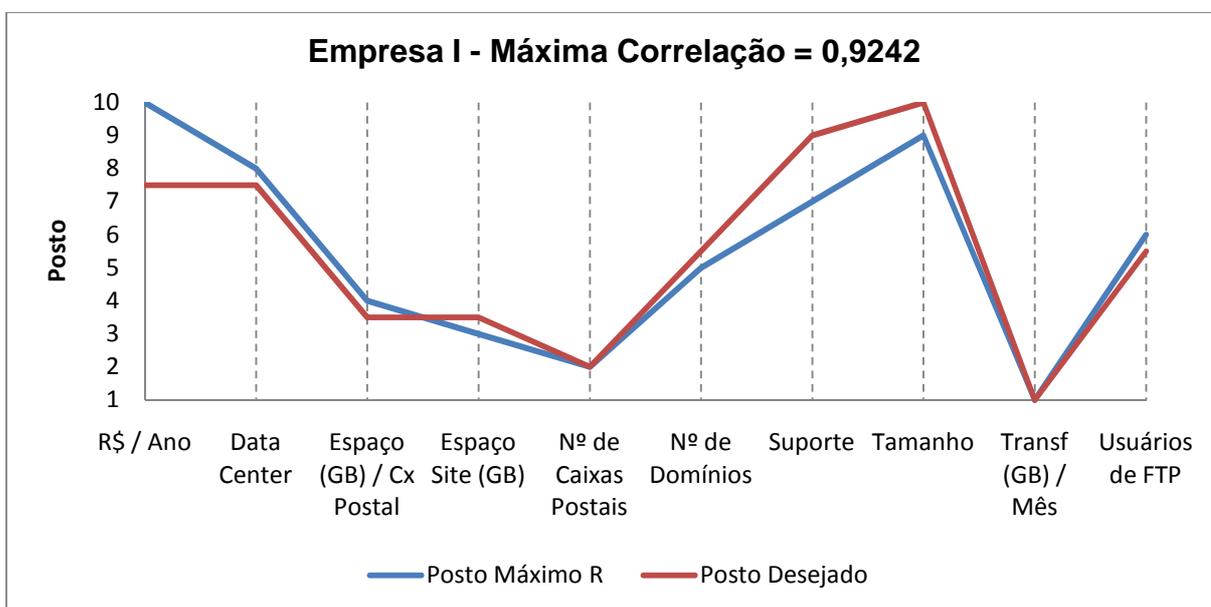


Figura 4.4- Pesos ótimos para Empresa I versus pesos desejados pelo decisor.

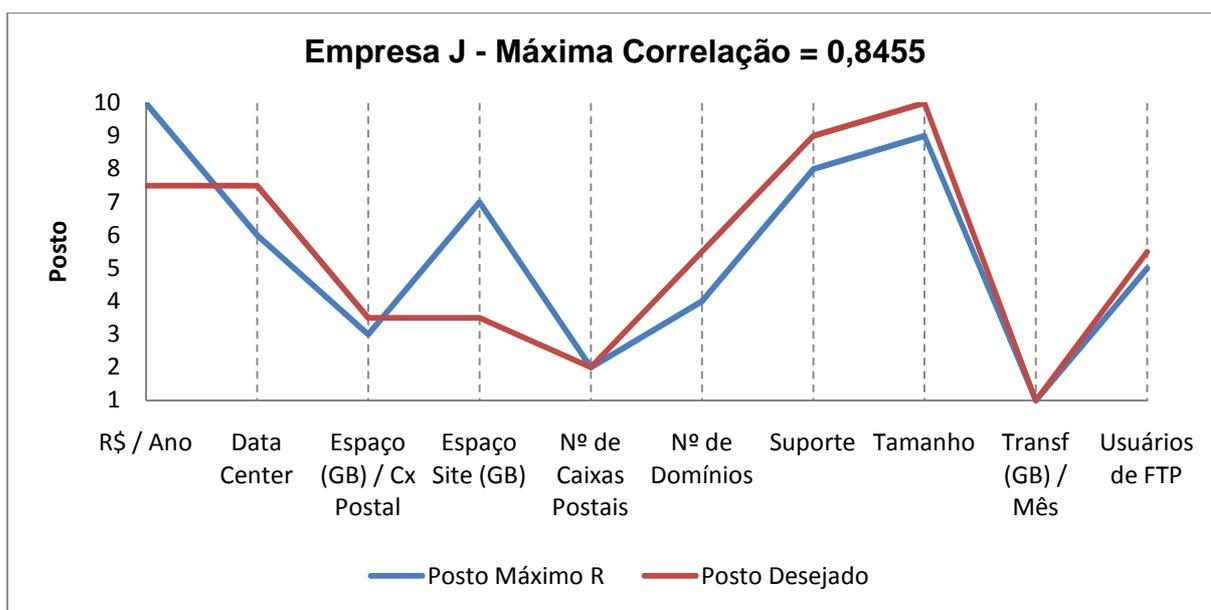


Figura 4.5- Pesos ótimos para Empresa J versus pesos desejados pelo decisor.

Caso houvesse sido utilizado na resolução deste problema apenas o modelo DEA CCR, as alternativas A, B, D, I e J teriam sido consideradas empatadas uma vez que todas foram atingiram 100% de eficiência. A aplicação da metodologia proposta neste trabalho possibilitou um aumento no poder discriminatório das alternativas em relação ao modelo DEA CCR ao mesmo tempo em que embutiu no processo decisório os julgamentos de valor do decisor. Aplicado o modelo, as cinco alternativas previamente empatadas receberam índices que foram utilizados na ordenação das mesmas, e a alternativa A, por possuir o maior índice, possui também maior capacidade de ajustar os pesos de seus critérios ao perfil do decisor e conseqüentemente é a solução do problema abordado. Um ponto importante a ser abordado é que o modelo proposto não garante uma ordenação total das alternativas de decisão. Conforme observado empiricamente nos testes realizados com o modelo, o poder discriminatório do mesmo é consideravelmente maior do que o encontrado no DEA CCR, porém podem ocorrer situações de empate entre alternativas.

Visualmente, podem-se verificar nas figuras 4.1 a 4.4 as diferentes características entre estas alternativas. Quando a linha vermelha (postos ideais para cada critério) encontra-se próxima a linha azul (postos selecionados para cada critério), por exemplo como na figura 4.1, significa que é possível selecionar pesos para os critérios da alternativa avaliada que combinam em ordem com aqueles estabelecidos pelo decisor sem que a mesma deixe de ser considerada eficiente pelo DEA CCR. Esta alternativa pode ser vista então como uma alternativa que combina com os julgamentos de valor do decisor. Do contrário, quando as

linhas vermelha e azul estão distantes como na figura 4.3, é o indício de que, mesmo estando livre para variar seus pesos dentre aqueles que maximizam sua eficiência, a alternativa avaliada não consegue aproximar a ordem destes pesos àquela que é desejada pelo decisor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo apontou uma alternativa de modelo de decisão que incorpora julgamentos de valor à Análise Envoltória de Dados para uso como método de apoio multicritério à decisão. O modelo desenvolvido minimiza a deficiência do DEA CCR em apontar como solução um conjunto mais reduzido de alternativas, levando em conta os julgamentos de valor do decisor. Neste trabalho, além da técnica de Análise Envoltória de Dados foi utilizada a metodologia *Swing Weights* e o resultado foi um modelo que se mostrou de fácil aplicação ao exigir pouco esforço por parte do tomador de decisão. Computacionalmente o modelo proposto também é bastante simples, podendo ser implementado em uma planilha eletrônica de um computador pessoal.

Em relação aos modelos já existentes que utilizam DEA como método de apoio multicritério a decisão, o modelo proposto contribui principalmente ao viabilizar a introdução de julgamentos de valor do decisor em DEA, a partir da definição pelo decisor de pesos para os critérios sem a necessidade de se recorrer ao sistema de fixação de limites rígidos para estes pesos. Uma segunda contribuição é a definição de uma metodologia simples e eficaz de elicitação de preferências que foi incorporada ao modelo de forma bem sucedida.

Para exemplificar a aplicação do modelo desenvolvido, foi realizado um estudo de caso em uma empresa da área de educação, onde o problema de decisão foi escolher prestador de serviços de hospedagem de sites que melhor atendesse as necessidades da empresa dentre os concorrentes nacionais do ramo. O resultado do estudo de caso foi a indicação da opção entre as dez disponíveis que melhor se adequou ao perfil decisor.

Uma das características do modelo proposto diz respeito a não garantia de ordenação completa das alternativas de decisão. Sendo assim, apesar do modelo melhorar consideravelmente o poder discriminatório de DEA, a solução apontada pode aparecer na forma de pré-ordem parcial, causando empates que precisariam ser resolvidos pelo decisor sem o apoio da ferramenta proposta.

Para trabalhos futuros sugere-se o estudo ou criação de outras formas de verificar a relação entre o vetor de pesos desejados e os vetores de pesos de cada alternativa, assim como uma análise de sensibilidade. Além disso, a implementação em software do modelo proposto impulsionaria suas possibilidades de aplicação e contribuiria para o atendimento dos seus objetivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. et al. Weights restrictions and value judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, development and future directions. **Annals of Operations Research**, v. 73, p. 13-34, October 1997. ISSN 0.
- ALMEIDA, A. T. D.; COSTA, A. P. C. S. MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO COM BASE NO MÉTODO PROMETHEE. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 201-214, Agosto 2002.
- BANA E COSTA, C. A. O que entender por tomada de decisão multicritério ou multiobjetivo? In: BANA E COSTA, C. A. **Introdução à Abordagem Multicritério**. [S.l.]: [s.n.], 1995. p. 118-139.
- BRANS, J.-P.; MARESCHAL, B. **The Promethée-Gaia Decision Support Systems for Multicriteria Investigations**. Proceedings of the XIth International Conference on Multiple Criteria Decision Making. Coimbra: [s.n.]. 1994.
- BUCHANAN, J.; HENIG, M. I. Decision Making by Multiple Criteria: A Concept of Solution. **Proceedings of the XIth International Conference on Multiple Criteria Decision Making**, Coimbra, 1994.
- CAMPELLO DE SOUZA, F. M. **Decisões racionais em situações de incerteza**. Recife: [s.n.], 2007.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- COOK, W. D.; SEIFORD, L. M. Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. **European Journal of Operational Research**, v. 192, n. 1, p. 1-17, January 2009.
- DYSON, R. G.; THANASSOULIS, E. Reducing weight flexibility in data envelopment analysis. **Journal of the Operational Research**, n. 39, p. 563-576, 1988.
- EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS AND SMARTER - IMPROVED SIMPLE METHODS FOR MULTIATTRIBUTE UTILITY MEASUREMENT. **ORGANIZATIONAL BEHAVIOR AND HUMAN DECISION PROCESSES**, December 1994. 306-325.
- GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; LINS, M. P. E. A Integração entre a Análise Envoltória de Dados e o Apoio Multicritério à Decisão - uma revisão (Parte I). **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 13, p. 41-49, 1999.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. D. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2006.
- LAWRENCE, M.; SEIFORD, R. M. Recent developments in DEA : The mathematical programming approach to frontier analysis. **Journal of Econometrics**, v. 46, n. 1-2, p. 7-38, October-November 1990.
- LINS, M. P. E.; MEZA, L. A. **ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa:** planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. São Paulo: Atlas, 2002.

MIRANDA, C. M. G. D.; ALMEIDA, A. T. D. VISÃO MULTICRITÉRIO DA AVALIAÇÃO DE. **GESTÃO & PRODUÇÃO**, v. 11, p. 51-64, 2004.

NUTT, P. C. How Decision Makers Evaluate Alternatives and the Influence of Complexity. **MANAGEMENT SCIENCE**, v. 44, n. 8, p. 1148-1666, August 1998.

RESTREPO B., L. F.; GONZÁLEZ L., J. De Pearson a Spearman. **Revista Colombiana de Ciências Pecuarias**, v. 20, p. 183-192, 2007.

SARKIS, J. A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decision tool. **European Journal of Operational Research**, n. 123, p. 543-557, June 2000.

SCHMIDT, A. M. A. PROCESSO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO - ABORDAGENS: AHP E MACBETH. **Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia - Universidade Federal de Santa Catarina**, 1995.

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. **The American Journal of Psychology**, v. 15, n. 1, p. 77-101, January 1904.

THANASSOULIS, E.; ALLEN, R. Simulating Weights Restrictions in Data Envelopment Analysis by Means of Unobserved DMUs. **Management Science**, April 1988. 586-594.

VALOIS, U.; ALMEIDA, A. T. Modelo de apoio à decisão multicritério para terceirização de atividades produtivas baseado no Método SMARTS. **Produção**, v. 19, n. 2, p. 249-260, 2009.

WONG, B. Y. H.; LUQUE, M.; YANG, J.-B. Using interactive multiobjective methods to solve DEA problems with value judgements. **Computers & Operations Research**, February 2009. 205-222.