

Geração de critérios para o processo decisório na aplicação das técnicas de geoprocessamento

Paulo Roberto Fitz*
Francisco Carlos Bragança de Souza**

Resumo

O uso de SIGs e das técnicas de geoprocessamento têm possibilitado aplicações nas mais diversas áreas. As Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão (MCDA – Multicriteria Decision Aided), fornecem subsídios para o estabelecimento de critérios adequados tanto qualitativa quanto quantitativamente para procedimentos nestes aspectos. Este trabalho pretende realizar uma apreciação geral de pesquisa confeccionada, relativa a um estudo de caso, a fim de estender as conclusões da mesma e apresentar as MCDA como alternativas viáveis para o estabelecimento de critérios utilizados em dados geoprocessados.

Palavras-chave: SIG, geoprocessamento, geração de critérios, Tomada de decisão, MCDA.

Generating criteria for the decision-making process using
geoprocessing techniques

Abstract

The use of GIS and the geoprocessing techniques have allowed applications in different areas. The MCDA – Multicriteria Decision Aided – provides support for the generation of criteria that are satisfactory both qualitatively and quantitatively. The present paper aims at providing an overall

* Professor do Centro Universitário La Salle (fitz@unilasalle.edu.br).

** Professor do IPH/UFRGS (braganca@iph.ufrgs.br).

examination of a research previously conducted, using a case study, and extend the conclusions of that research and present the MCDA as good alternatives for establishing criteria that have been used in geoprocessed data.

Key words: GIS, geoprocessing, criteria generation, decision making, MCDA.

Introdução

A crescente utilização de SIGs pelos diversos setores da sociedade traz consigo algumas preocupações relacionadas ao seu uso indiscriminado. Uma questão prática envolvendo o emprego destes sistemas diz respeito à tomada de decisão pelos usuários dos mesmos. Suas diversas aplicações, como por exemplo, na simples localização de um imóvel em algum ponto do espaço geográfico, na análise, na gestão ou em planejamentos de cunho ambiental, econômico, social etc., podem gerar resultados promissores ou desastrosos para o tomador final de decisão. No entanto, a temática relacionada ao processo decisório, em geral, é encarada somente no final dos trabalhos. A manipulação de um SIG, entretanto, perpassa por uma longa trajetória que envolve distintos aspectos ligados à questão. O cruzamento de informações derivadas de bases de dados georreferenciados, por exemplo, necessita de critérios consistentes, o que remete a um processo decisório que deve ser visto como um caminho a ser trilhado.

O presente artigo busca apresentar e analisar sinteticamente uma pesquisa realizada com a aplicação de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão (MCDA) para a geração de critérios utilizados em dados geoprocessados em uma microbacia hidrográfica (MBH) no município de Maximiliano de Almeida, no Estado do Rio Grande do Sul.

O texto apresenta, em seu decorrer, alguns tópicos relativos aos conceitos desenvolvidos na pesquisa, a interrelação entre os mesmos, bem como discussões e aplicações dos mesmos em termos gerais.

SIGs, geoprocessamento e processo decisório

A fim de se esclarecer alguns aspectos essenciais para o aprofundamento do assunto em pauta, faz-se interessante uma breve abordagem a respeito das características dos SIGs, do geoprocessamento e do processo decisório.

Uma definição bastante usual para SIG é a de Burrough e McDonnell, a qual apresenta que

SIG é um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos. (BURROUGH; MCDONNELL, 1998, p. 11, tradução nossa)

Vinculado à tecnologia de SIGs, tem-se o uso generalizado, ao menos no Brasil, do termo *geoprocessamento*. Rocha apresenta o geoprocessamento como sendo

uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados. (ROCHA, 2000 p. 210, grifo do autor)

As caracterizações apresentadas denotam a dinamicidade e a aplicabilidade de tais tecnologias. Explica-se, nesta óptica, o engajamento de profissionais de diferentes áreas, em trabalhos de cunho interdisciplinar apoiados pelo uso de tal ferramental. As derivações verificadas a partir do suporte prestado por esta tecnologia levam a um direcionamento no processo de tomada de decisão, especialmente no que se refere às questões vinculadas ao planejamento e organização do espaço geográfico.

Tem-se, assim, que trabalhos envolvendo alguma forma de análise espacial necessitam abordagens metodológicas que busquem, em seu decorrer, algum contato com o chamado processo decisório.

Em termos gerais, pode-se colocar que o processo decisório consiste no desencadeamento das ações realizadas no decorrer de um estudo, plano, projeto etc. que envolvam a possibilidade de escolha por um ou outro direcionamento dado no quadro das opções existentes. A decisão final pode vincular-se, assim, ao somatório das decisões tomadas ao longo dos procedimentos realizados, ou somente a partir das conclusões finais tiradas de ações estáticas concebidas no processo.

A complexa estrutura envolvida em um processo decisório pode perder-se caso os decisores finais não participem das ações realizadas no decorrer do mesmo. Entretanto, em grande parte dos casos, o processo decisório acaba tendo a participação de somente um agente, o próprio decisor. Nestas circunstâncias, este personagem tende a direcionar os procedimentos levando em consideração, quando muito, algumas sugestões de outros especialistas envolvidos. Aparentemente, tal condição advém da origem das metodologias de ação utilizadas pelo envolvido. No caso brasileiro, tem-se que grande parte da bibliografia desta área é de origem norte-americana e vinculada ao paradigma racionalista. Assim, há uma tendência natural em se adotar uma postura mais voltada a tais preceitos que possuem, como objetivo final, a construção de uma solução "ótima", ou seja, aquela que descreve, da melhor forma possível, a realidade trabalhada.

Outra corrente científica percebe a questão decisória dentro de um enfoque construtivista. Esta perspectiva trabalha o que Ensslin et al. (2001), descrevem como o "apoio à decisão", entendido como uma atividade inserida no processo decisório, onde o facilitador – o agente que auxilia os decisores na tomada de decisão – procura estabelecer determinados elementos que possam responder aos apelos dos decisores. O apoio à decisão prestaria, assim, excepcional auxílio aos tomadores de decisão. Estes estariam decidindo a partir do estabelecimento de procedimentos metodológicos definidos e participativos, o que certamente

contribuiria para decisões, se não das mais “acertadas”¹, com respaldo suficientemente eficaz.

Quando do uso de SIGs e das técnicas de geoprocessamento, os quesitos anteriormente mencionados também se tornam presentes. Um usuário de tal tecnologia seguramente deverá tomar decisões mais ou menos impactantes no decorrer de seu trabalho. Estas decisões estão vinculadas diretamente a questões específicas relacionadas com a formação dos atores. Em boa parte dos casos, entretanto, o processo decisório não é percebido pelos técnicos atuantes diretamente na ação trabalhada quando do uso de tal ferramental. Estes ficam à margem das decisões não participando da geração de conhecimento como na concepção construtivista. O especialista acaba, dessa maneira, por restringir-se a um mero executor de tarefas, ou mesmo em uma extensão do sistema por ele manipulado, não refletindo seu conhecimento sobre o assunto, suas reais concepções de vida, sua cultura etc.

Uma das inferências percebidas no uso de SIGs relativas ao processo decisório refere-se à formulação de critérios quando da aplicação das técnicas de geoprocessamento. Hasenack (1995, p. 186) coloca que "a tomada de decisão é uma escolha de alternativas" e, para isto, deve-se "representar diferentes caminhos, a partir de critérios previamente definidos". O uso de critérios definidos para a opção pelo caminho a ser seguido no decorrer do processo decisório, vincula toda uma série de procedimentos e atitudes decorrentes dos atores envolvidos no mesmo.

Trabalhos estruturados com base no espaço geográfico pressupõem um sem número de variáveis de análise, as quais poderão ou não constituir-se em critérios. Esta característica pressupõe o uso de metodologias multicritério, que trabalham com mais de um critério simultaneamente ao invés das monocritério, que trabalham somente com um determinado critério.

¹ Tal situação refere-se à possibilidade de escolhas que venham a gerar produtos que não expressem exatamente os propósitos inicialmente almejados.

Em termos de metodologias multicritério, pode-se distinguir duas abordagens (MONTIBELLER NETO, 1996; ENSSLIN et al. 2001):

- as Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão (MCDA – *Multicriteria Decision Aid*) vinculadas aos preceitos construtivistas; e
- as Metodologias Multicritério de Tomada de Decisão (MCDM – *Multicriteria Decision Making*) vinculadas ao paradigma racionalista.

O quadro 1 procura sintetizar as principais características de uma e outra metodologia.

Quadro 1: Principais características das MCDA e MCDM

MCDM	MCDA
Base: princípios racionalistas	Base: princípios construtivistas
Busca da solução “ótima”	Busca da construção de uma solução representativa
As decisões são tomadas a partir de aspectos objetivos	Levam em consideração a subjetividade dos decisores
Decisor é tido como neutro no processo decisório	Participantes do processo não são neutros e devem expressar suas posições de forma aberta
Agilidade, rapidez e simplicidade na execução	Burocracia, lentidão e complexidade na execução
Poder decisório centralizado	Poder decisório descentralizado

Fonte: A autoria própria

Ambas abordagens possuem aspectos positivos e negativos. A diferenciação ocorre na concepção do usuário da metodologia empregada. A idéia apresentada no trabalho analisado, entretanto, considerou que a construção de critérios, quando do uso das MCDA em geoprocessamento, tende a ser mais confiável.

Elaboração de critérios para uso em geoprocessamento a partir de MCDA

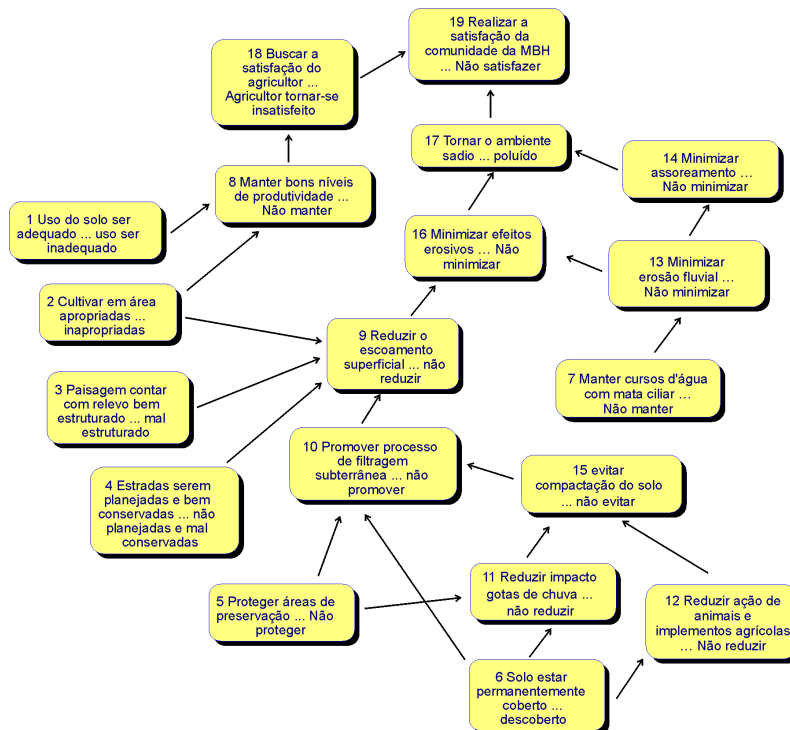
A seguir, serão analisados os procedimentos metodológicos da pesquisa desenvolvida.

O estudo em foco fez uso de MCDA para a geração de critérios e suas taxas de substituição (pesos) seguindo uma estruturação específica, desde a elaboração do mapa cognitivo até a geração e mensuração dos critérios finais utilizados na plotagem dos mapas gerados com o uso do geoprocessamento.

Elaboração de um mapa cognitivo

O processo de elaboração do mapa cognitivo talvez seja uma das partes mais trabalhosas da metodologia empregada. Este mapa constitui-se em um diagrama que reúne, de forma esquemática, as representações mentais do decisor. A construção do mapa cognitivo do trabalho analisado se deu a partir da realização de reuniões (*brainstorms*) com os agentes do processo decisório. A elaboração do mesmo reflete as idéias dos participantes, a saber, três técnicos da EMATER-RS (um técnico agrícola, um engenheiro agrônomo e um engenheiro florestal) no momento das entrevistas e nas circunstâncias da época. Estas questões devem ser ressaltadas na medida que outros participantes, ou os mesmos em outro momento, poderiam gerar conceitos diferentes daqueles ora descritos. Profissionais de outras áreas, com concepções científicas diferenciadas, possivelmente responderiam às questões de outra maneira. A partir das discussões, o autor da pesquisa, atuando como facilitador, procurou reunir as idéias apresentadas pelos decisores no mapa cognitivo ilustrado pela figura 1.

Figura 1: Mapa cognitivo realizado para o “manejo de uma microbacia hidrográfica visando a sua sustentabilidade ambiental”.



Fonte: Fitz, 2005, p. 74.

Análise do mapa cognitivo

A análise de um mapa cognitivo se dá a partir do estudo de sua consistência e de certos parâmetros nele existentes. Uma das maneiras de se analisar o mapa cognitivo diz respeito ao uso de agrupamentos de conceitos conhecidos como *clusters*.

Um *cluster* pode ser considerado como uma espécie de ilha dentro do mapa cognitivo, ou mesmo, outro mapa dentro do

original. A partir de sua identificação, pode-se analisar os *clusters* isoladamente, isto é, cada agrupamento pode ser considerado como um mapa independente. Essa forma de análise trabalha com uma cadeia de conceitos, conhecida como uma *linha de argumentação*, a qual inicia com um conceito *rabo* e finda em um conceito *cabeça*. Tal tipo de análise caracteriza-se por trabalhar mais a forma do mapa. Uma ou mais linhas de argumentação que mostrem contextualizações semelhantes dentro do mapa cognitivo, constituem-se nos *ramos* de um mapa cognitivo. A análise do mapa através de seus ramos leva em consideração o conteúdo, ou seja, as idéias apresentadas nos conceitos construídos ao longo do processo decisório. A partir da identificação dos ramos, são definidos os *pontos de vista* necessários para a estruturação do modelo.

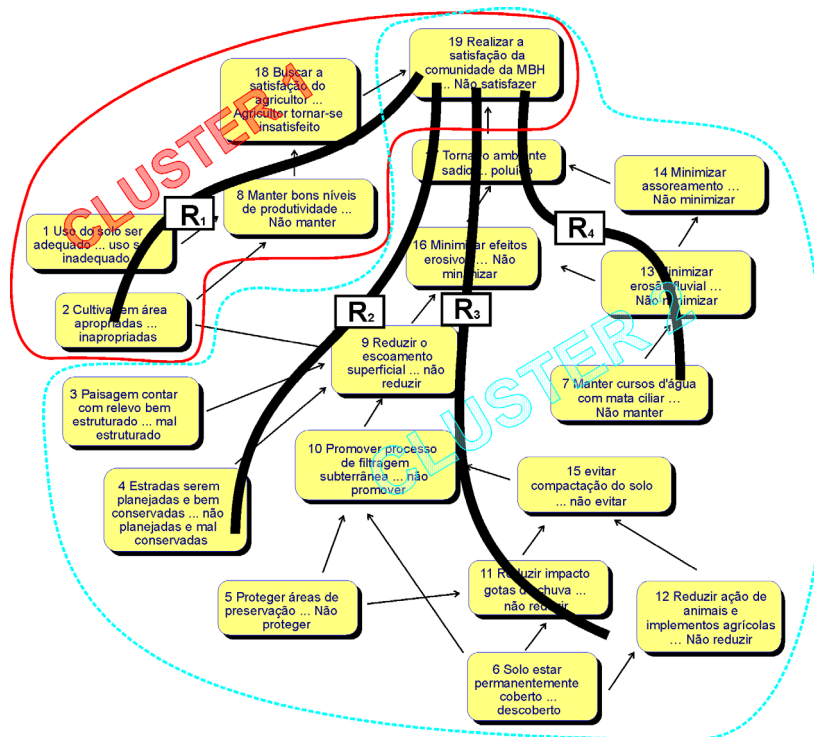
Salienta-se mais uma vez que, em tratando-se do uso de MCDA, a estrutura do mapa cognitivo reflete o juízo de valores dos atores do processo no momento de sua confecção. A figura 2 apresenta a divisão do mapa cognitivo referido na figura 1 contendo uma estruturação de análise por agrupamentos, os *clusters* e os respectivos ramos (Rn) a eles vinculados.

Determinação dos pontos de vista fundamentais

Os pontos de vista (PVs) podem ser considerados como os aspectos que reúnem características e/ou objetivos, percebidos como importantes pelo decisor, para a construção de um modelo de avaliação de ações existentes ou construídas. (SOUZA, 1999, p. 50)

Certos pontos de vista são essenciais para uma possível avaliação das futuras ações. Estes, são considerados como Pontos de Vista Fundamentais (PVFs) e constituem-se como eixos de avaliação do problema.

Figura 2: Mapa cognitivo contendo os ramos (Rn) e *clusters* para analisar o mapa gerado visando o “manejo de uma microbacia hidrográfica visando a sua sustentabilidade ambiental”.



Fonte: Fitz, 2005, p. 76.

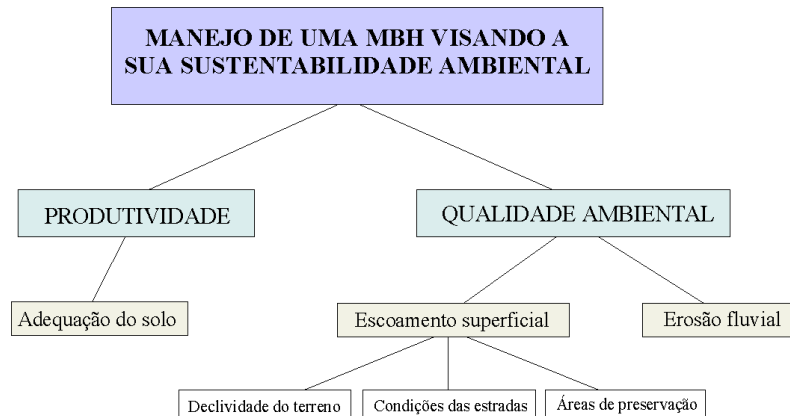
Num primeiro momento, são escolhidos candidatos a PVFs, assim denominados porque ainda são passíveis de sofrer uma série de testes que determinarão ou não seu aproveitamento.

Com os candidatos a Pontos de Vista escolhidos, seguiu-se na direção de sua representação em uma *árvore de pontos de vista*.

A figura 3 apresenta a árvore de candidatos a pontos de vista para o *Manejo de uma MBH visando a sua sustentabilidade ambiental*.

Figura 3: Árvore de candidatos a pontos de vista para o *Manejo de uma MBH visando a sua sustentabilidade ambiental*.

Fonte: Fitz, 2005, p. 82.



Conforme Ensslin et al. (2001), muitas vezes, faz-se necessária a decomposição de um PVF a fim de que se possa realizar uma melhor avaliação do desempenho de suas ações potenciais, ou seja, por exemplo, quando se necessita de um maior detalhamento do mesmo. A decomposição do PVF se dá através da criação de PVEs – Pontos de Vista Elementares.

O estudo em pauta fez uso dos seguintes pontos de vista: *adequação do solo ao cultivo na MBH; escoamento superficial natural da MBH*, este, desdobrado em três PVEs: *declividade do terreno, planejamento das estradas e áreas de preservação; e erosão fluvial provocada pela desproteção das margens*.

De posse dos PVs, foi construído um modelo multicritério para avaliar as suas ações potenciais, associando para isso, a cada

PV, um determinado critério de avaliação. Para a construção de um critério, conforme Ensslin et al. (2001, p. 145), se faz necessária a elaboração de *descritores*.

Determinação dos descritores

Os descritores podem ser caracterizados como sendo um conjunto de níveis de impacto que descrevem possíveis variações das ações potenciais em relação aos PVs (SOUZA, 1999, p.55). Cada um dos pontos de vista possui seu próprio descritor. A utilização dos descritores remete à escolha da maneira de avaliação das ações potenciais nos pontos de vista. A partir daí, foram construídas as funções de valor, ou seja, determinadas relações que servem para auxiliar a mensuração da intensidade das preferências entre os níveis de impacto das ações potenciais. O quadro 2 a seguir apresenta, como exemplo, os níveis de impacto (onde os maiores níveis representam as melhores soluções) e de referência encontrados para o descritor do PVF *adequação do solo*.

Quadro 2: Níveis de impacto e de referência do descritor do PVF *adequação do solo*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição
N5		Solo com boa adequação ao cultivo
N4	Bom	Solo com adequação ao cultivo de regular a boa
N3		Solo com regular adequação ao cultivo
N2	Neutro	Solo com uso restrito ao cultivo
N1		Solo desaconselhável ao cultivo

Fonte: Fitz, 2005, p. 94.

Construção das funções de valor

As funções de valor foram construídas com o auxílio do método de julgamento semântico denominado *MACBETH* (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*). O método MACBETH consiste em mensurar a

diferença de atratividade entre duas situações, conforme (ENSSLIN et al., 2001, p. 195):

- C0 – sem atratividade;
- C1 – atratividade muito fraca;
- C2 - atratividade fraca;
- C3 - atratividade moderada;
- C4 - atratividade forte;
- C5 - atratividade muito forte; e
- C6 - atratividade extrema;

Através do *software MACBETH*, concebido para a aplicação do método de mesmo nome, foram montadas matrizes que determinaram as funções de valor que melhor responderam ao julgamento semântico do decisor. A matriz formada pelas diferenças de atratividade par a par entre os níveis de impacto do descritor do PVF *adequação do solo* do quadro 1, é apresentada na tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Matriz semântica do descritor do PVF *adequação do solo*.

	N5	N4	N3	N2	N1
N5	0	2	3	4	6
N4		0	2	3	5
N3			0	3	5
N2				0	4
N1					0

Fonte: Fitz, 2005, p. 102.

As comparações foram realizadas através do questionamento da perda de atratividade em se passar de um nível de impacto para outro. Assim, por exemplo, considerando-se os níveis de impactos descritos no quadro 1 anteriormente apresentado, para se passar do nível de impacto N5 para o nível N4, foi considerado que a perda de atratividade é C2 (fraca) sendo introduzido, no quadro referente ao cruzamento da linha N5 com a coluna N4 da matriz, o valor 2. Já, para se passar do nível N5 para o nível N3, considerou-se que a perda de atratividade é moderada, o que corresponde à categoria

C3, sendo atribuído o valor 3 na matriz. O mesmo procedimento foi realizado para todos os demais níveis de impacto deste e dos demais PVs.

Após a construção da matriz semântica referente ao descritor do PVF *adequação do solo*, os valores atribuídos na matriz foram inseridos no *software MACBETH* para a geração de uma escala que representa a função de valor correspondente. A tabela 2 apresenta os resultados dessa operação com a função de valor gerada e sua transformada, obtida através de uma transformação linear.

Tabela 2: Função de valor do PVF *adequação do solo*.

Níveis de impacto	Níveis de referência	Função de Valor original	Função de Valor Transformada
N5		100	140
N4	Bom	84,62	100
N3		69,23	60
N2	Neutro	46,15	0
N1		0	- 120

Fonte: Fitz, 2005, p. 109.

A caracterização das funções de valor, associadas a seus descritores, definiram os critérios ou subcritérios de avaliação do modelo vinculados, respectivamente, aos seus PVFs ou PVEs. Assim, os critérios gerais ficaram caracterizados como sendo:

- *adequação do solo ao cultivo na MBH;*
- *escoamento superficial natural da MBH, desdobrado em:*
 - *declividade do terreno;*
 - *planejamento das estradas;*
 - *áreas de preservação; e*
 - *erosão fluvial provocada pela desproteção das margens.*

Elaboração das taxas de substituição

Para procurar compensar a perda ou ganho de desempenho de uma ação potencial em relação a outra, visto que, em geral, uma ação que produz um grande benefício está vinculada a um alto

custo, utilizou-se o que autores como Ensslin et al. denominam de taxas de substituição, conhecidas também como *pesos*. Seguindo a literatura, foi adotada uma soma ponderada como função de agregação aditiva onde a ponderação de cada critério é dada pela sua taxa de substituição de acordo com o apresentado pela função:

$$V(a) = p_1 \cdot v_1(a) + p_2 \cdot v_2(a) + p_3 \cdot v_3(a) + \dots + p_n \cdot v_n(a)$$

onde: - $v_1(a)$, $v_2(a)$, $v_3(a)$... $v_n(a)$ são os valores parciais da ação "a" nos critérios 1, 2, ..., n;

- p_1 , p_2 , p_3 ... p_n representam as taxas de substituição dos critérios 1, 2, ..., n; e

- n é o número de critérios do modelo adotado.

Com o uso do *software MACBETH*, foram realizadas comparações par-a-par dos critérios gerais: *adequação dos solos*, *escoamento superficial natural da MBH* e *erosão fluvial*. O resultado das comparações é mostrado na tabela 3, já ordenada, onde o número 1 (*um*) colocado no cruzamento das ações descritas na matriz indica a preferência da ação apresentada no sentido horizontal (linha da matriz) em relação à ação descrita na vertical (coluna da matriz). O número 0 (*zero*) indica a situação oposta, ou seja, a ação descrita na linha da matriz não é preferível àquela apresentada na coluna.

Tabela 3: Matriz de ordenação do conjunto de critérios gerais ordenados

	Escoamento superficial	Erosão fluvial	Adequação dos solos	Soma	Ordem
Escoamento superficial	-	1	1	2	1°
Erosão fluvial	0	-	1	1	2°
Adequação dos solos	0	0	-	0	3°

Fonte: Fitz, 2005, p. 118.

Após a construção da matriz de ordenação dos critérios gerais apresentados para o caso em estudo, utilizou-se o *software*

MACBETH para a constituição de uma nova matriz a fim de realizar-se o julgamento semântico sobre as ações apresentadas. Foram feitas, então, comparações entre as ações potenciais medidas a partir da perda de atratividade existente no caso de se passar de uma situação para outra. Para tal, realizou-se indagações através da elaboração de ações fictícias, onde comparou-se uma ação *A* com nível de impacto *bom* em um dos critérios e *neutro* nos demais a uma ação *B* com nível de impacto *neutro* no critério primeiramente considerado como *bom*, *bom* em um dos demais critérios considerados antes como *neutro* e, finalmente, *neutro* no restante. A matriz expressa na tabela 4 demonstra os resultados obtidos. É importante salientar que na matriz apresentada, em função da necessidade da agregação de uma ação de referência com impacto neutro a fim de que se possa identificar a taxa do critério menos preferível, já que na ausência desta, este critério teria taxa de substituição com valor nulo, foi acrescentada uma ação identificada por A0.

Tabela 4: Matriz de julgamento semântico dos critérios utilizados

	Escoamento superficial	Erosão fluvial	Adequação dos solos	A0
Escoamento superficial	-	C3	C5	C6
Erosão fluvial	-	-	C3	C6
Adequação dos solos	-	-	-	C5
A0	-	-	-	-

Fonte: Fitz, 2005, p. 120.

Utilizando-se o *software MACBETH*, encontrou-se as taxas de substituição (pesos) para os critérios *escoamento superficial*, *erosão fluvial* e *adequação dos solos*. Tais valores estão expressos na tabela 5.

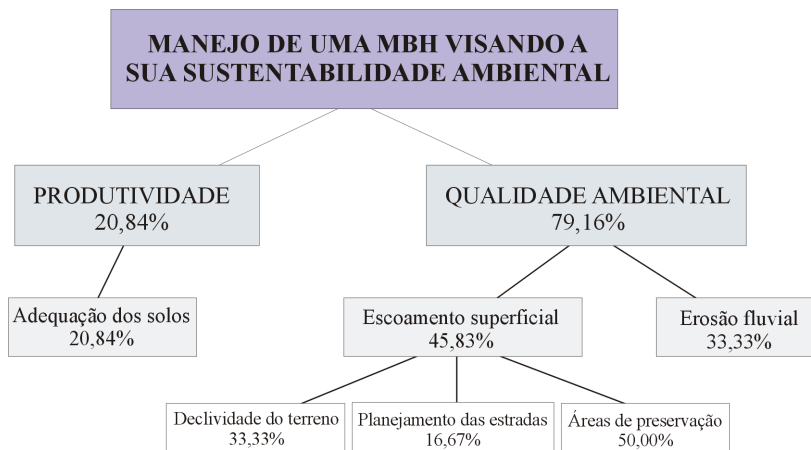
Tabela 5: Taxas de substituição dos critérios gerais

critério	Taxa de substituição
Escoamento superficial	45,83%
Erosão fluvial	33,33%
Adequação dos solos	20,84%

Fonte: Fitz, 2005, p. 120.

Semelhantemente, num segundo momento, realizou-se a comparação par-a-par entre os subcritérios *declividade do terreno, planejamento das estradas e áreas de preservação* do critério *escoamento superficial natural da MBH*. Uma visão geral dos resultados pode ser observada na figura 4 que apresenta a Árvore de Valor com as taxas de substituição dos critérios e subcritérios encontrados para o critério global *Manejo de uma MBH visando a sua sustentabilidade ambiental*.

Figura 4: Árvore de Valor com as taxas de substituição dos critérios e subcritérios encontrados para o critério global *Manejo de uma MBH visando a sua sustentabilidade ambiental*



Fonte: Fitz, 2005, p. 124.

Aplicação dos critérios na modelagem proposta

Com o estabelecimento dos critérios e subcritérios e de suas respectivas taxas de substituição, ou pesos, estes foram representados em mapas específicos com o auxílio do *software* Idrisi. A partir de mapas (Planos de Informações – PIs – primários) contendo o limite da MBH, os solos da área de estudo, as declividades do terreno, a hidrografia e áreas urbanas, confeccionados desde cartas topográficas na escala 1:50.000, aerofotos da região, croqui de solos e imagens do satélite CBERS-2 de março, abril e agosto de 2004, criaram-se os seguintes mapas (PIs secundários):

- *Adequação dos solos;*
- *Planejamento das estradas;*
- *Áreas de preservação – encostas e topos de morros; e*
- *Áreas de proteção de nascentes e de matas ciliares.*

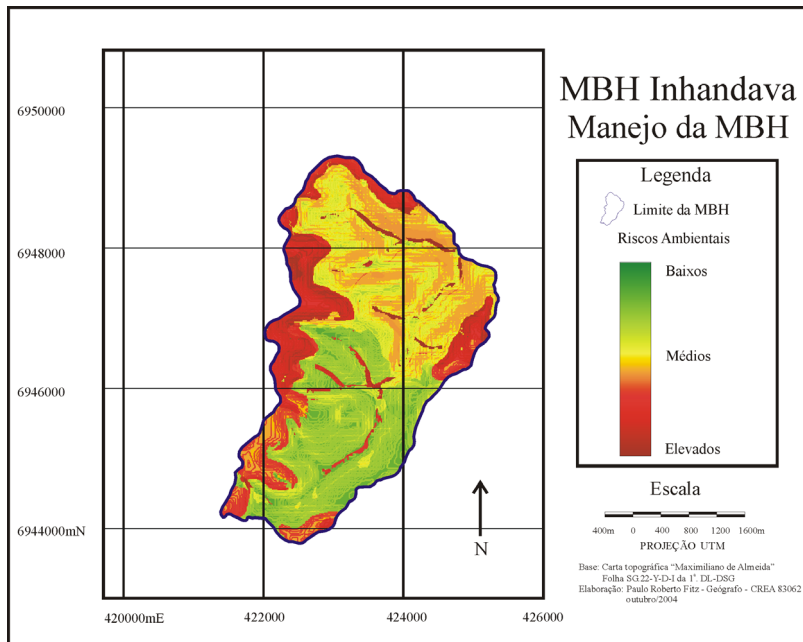
Uma vez construídos os mapas (PIs secundários) foram avaliadas local e globalmente, no modelo multicritério criado, as ações potenciais concebidas como os *tipos de solos*. A partir daí, realizou-se comparações caso a caso, tendo como referência os diferentes tipos de solos (ações potenciais) com relação aos critérios e subcritérios utilizados. Para cada uma das ações potenciais foram confeccionados cerca de 60 (sessenta) mapas, os quais culminaram em dois mapas vinculados à cada área de interesse: *produtividade ou adequação do solo e qualidade ambiental*.

Finalmente, O cruzamento das áreas de interesse *adequação dos solos e qualidade ambiental* gerou o mapa final denominado *Manejo de uma MBH visando a sua sustentabilidade ambiental* conforme pode ser observado na figura 5. O mapa apresenta as áreas de maior e menor risco ambiental, foco do trabalho analisado.

Análise de sensibilidade do modelo

Antes de passar por uma análise de sensibilidade que mede sua robustez, o modelo sofreu uma análise global de suas ações potenciais que identifica qual ação é, em princípio, preferencial em relação às demais e assim por diante, dadas as condições apresentadas no decorrer dos trabalhos.

Figura 5: Mapa de Manejo da MBH



Fonte: Fitz, 2005, p. 173

A análise de sensibilidade foi realizada para verificar se pequenas alterações promovidas nos parâmetros do modelo causavam ou não grandes variações em seus resultados. No trabalho analisado, o acréscimo ou decréscimo em 10% no valor da ação global não implicou em significativas alterações do modelo. Assim, foi concluído que o modelo utilizado era robusto para uma variação de 10% induzida no critério, ou seja, o mesmo era suficientemente confiável para os padrões estabelecidos.

Análise dos resultados

Os resultados obtidos pela metodologia empregada na pesquisa em análise conduziram à observação de que há uma nítida tendência de ocorrência de riscos ambientais nas áreas delimitadas pelos cursos d'água, ou seja, aquelas referentes à proteção de nascentes e de matas ciliares.

De igual sorte, pode-se perceber um maior grau de risco nas áreas mais íngremes da bacia, especialmente nas direções oeste, noroeste e norte, nas proximidades dos seus divisores de água, o que pareceu-nos bastante lógico.

Os mapas obtidos demonstraram o impacto negativo causado pelo uso do solo na área de estudo. O mapa final expressou esse aspecto de maneira singular, onde pode-se visualizar claramente a ocupação e desmatamento das margens dos cursos d'água, fatos que acentuam processos erosivos e intensificam a degradação ambiental.

As análises tecidas refletem as preocupações demonstradas pelos técnicos da EMATER-RS quando da sua participação no decorrer do processo. Como já fora ressaltado, outros profissionais poderiam direcionar o processo de forma diferenciada, porém, com resultados semelhantes.

Conclusão

O trabalho analisado demonstrou a viabilidade quanto à aplicação de MCDA para a definição das taxas de substituição (pesos) atribuídas aos critérios aplicados nas técnicas de geoprocessamento.

Conforme o apresentado, os caminhos experimentados no decorrer dos estudos mostraram-se um tanto trabalhosos, merecendo atenção redobrada quando de sua aplicação. Tal complexidade, no entanto, realmente pareceu traduzir-se em resultados providos de maior segurança.

Outra característica vinculada à execução do método proposto, diz respeito à formação de equipes multidisciplinares as quais, pela sua natureza, sugerem dimensões mais eficientes. Tal

característica vai ao encontro da prática com SIGs. Apesar disso, parece-nos que os SIGs e as MCDA se ajustam perfeitamente para os propósitos descritos.

Pode-se extrair, a partir do apresentado, que, dadas as características apresentadas, a utilização de MCDA para a geração de critérios em geoprocessamento e sua aplicação prática em termos de estudos que envolvam o espaço geográfico se faz possível e pertinente.

Finalmente, é importante salientar-se que os critérios utilizados e os resultados obtidos deveram-se ao contexto metodológico adotado. Questões geograficamente relevantes envolvendo aspectos sócio-econômicos não foram inseridas diretamente em função da indisponibilidade dos dados e do próprio juízo de valores dos decisores.

Referências bibliográficas

BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems**. New York: Oxford, 1998.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S.D. **Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

FITZ, P.R. **Geração de múltiplos critérios para apoio à decisão em dados geoprocessados. Um estudo de caso: a microbacia hidrográfica de Inhandava, em Maximiliano de Almeida, RS**. 2005. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HASENACK, H. O geoprocessamento no processo de tomada de decisão. In: **Boletim Gaúcho de Geografia n. 20**. Porto Alegre: AGB/PA, 1995. p. 185 – 188.

MONTIBELLER NETO, G. **Mapas cognitivos: uma ferramenta de apoio à estruturação de problemas.** 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia interdisciplinar.** Juiz de Fora: Ed. do autor, 2000.

SOUZA, F.C.B. de. **Sistema de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para deposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre.** 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.

Recebido em janeiro de 2007

Aceito em abril de 2007