

## Comparação entre métodos de avaliação multicriterial, em ambiente SIG, para a conservação e a preservação florestal

Comparison between methods of multi-criteria evaluation,  
in a GIS environment, aiming at forest conservation and preservation

Roberta de Oliveira Avena Valente  
Carlos Alberto Vettorazzi

---

**RESUMO:** A fragmentação florestal antrópica é uma das principais causas de alterações, tanto na estrutura como nos processos de paisagens. A priorização de áreas representa um dos métodos mais efetivos e econômicos para o planejamento, a otimização e o sucesso de ações de conservação e preservação florestal, que visam ao incremento da biodiversidade regional. Nesse contexto, dois métodos da Abordagem Multicriterial, em ambiente SIG, a Combinação Linear Ponderada e a Média Ponderada Ordenada, foram comparados em relação à definição de áreas prioritárias para a conservação e a preservação florestal. Os mapas finais foram reclassificados em cinco classes de prioridade (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) e posteriormente comparados por meio de uma matriz de confusão. A Média Ponderada Ordenada proporcionou a melhor definição das classes de prioridade, principalmente aquelas com prioridade muito alta. Esse método possibilita uma melhor definição de áreas prioritárias para a conservação e a preservação florestal do que o método da Combinação Linear Ponderada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conservação florestal, Avaliação Multicriterial, Combinação Linear Ponderada, Média Ponderada Ordenada, SIG

**ABSTRACT:** Anthropic forest fragmentation is one of the main causes of changes in landscapes, both in the structure and in the processes. Prioritization of areas represents one of the most effective and economic methods for planning, optimization, and success of conservation actions, aiming at the improvement of regional biodiversity. Two methods of Multi-criteria Evaluation, in a GIS environment, the Weighted Linear Combination (WLC) and the Ordered Weighted Average (OWA), were compared, regarding the definition of priority areas for forest conservation and preservation. The final maps were re-classified in order to show only five levels of priority (very low, low, medium, high, and very high) and afterwards they were compared by means of a confusion matrix. The map produced through the OWA method showed the best classes definition, especially for the high priority class. Thus, the OWA method leads to a better delineation of priority areas for forest conservation and preservation than the WLC method.

**KEYWORDS:** Forest conservation; Multicriteria Evaluation; Ordered Weighted Average; Weighted Linear Combination; GIS.

---

### INTRODUÇÃO

A conservação florestal pode ser definida como o conjunto de ações que são realizadas em um ecossistema, tendo em vista sua restauração, sua proteção e, sobretudo, a sustentabilidade da qualidade e quantidade de seus componentes e processos (DUNSTER e DUNSTER, 1996). Esses mesmos autores definem a preservação, por

sua vez, como o uso a ser dado a um determinado ecossistema, no qual a interferência humana deve ser mínima, ou mesmo não existir.

Para Baker e Cai (1992), um aspecto importante para a conservação e a preservação dos recursos florestais, em nível de ecossistema, é o conhecimento da estrutura (composição e con-

figuração) e processos de sua paisagem, o que torna possível identificar os fatores importantes à manutenção da biodiversidade regional.

A integração do processo de tomada de decisão, no que se refere a “o que e onde conservar ou preservar”, com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) tem facilitado o planejamento, a otimização e o sucesso das ações de conservação e de preservação florestal (KANGAS *et al.*, 2000). Essa integração permite que as ações sejam direcionadas, pela determinação das áreas prioritárias.

A abordagem multicritério é uma das técnicas empregadas para a tomada de decisão e a sua integração com os SIGs foi considerada um avanço significativo em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a priorização de áreas (MALCZEWSKI, 1999; EASTMAN, 2001). Nesta abordagem, a base para a tomada de decisão, que pode ser medida e avaliada, são os critérios, que podem ser tanto fatores como restrições.

Para a integração dos fatores com base na abordagem multicritério, vários métodos vêm sendo utilizados e, dentre esses, estão os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada (MALCZEWSKI, 2000).

Na Combinação Linear Ponderada os fatores são padronizados para uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada (VOOGD, 1983). O resultado é um mapa de prioridades que pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas (EASTMAN, 2001).

Para a definição de áreas sensíveis, prioritárias ou de risco, o método da Combinação Linear Ponderada vem sendo empregado em diversas aplicações. No campo da conservação e preservação florestal podem-se citar Geneletti (2004), que identificou áreas prioritárias para a conservação de ecossistemas importantes na Província de Trento, Itália; Vettorazzi *et al.* (2000) e Chen *et al.* (2001), que mapearam áreas de risco de incêndios florestais, na bacia do Rio Corumbataí, SP, e em Sidney, Austrália, respectivamente; e ainda o projeto “Conservação dos Recursos Hídricos por meio da Recuperação e da Conservação da Cobertura Florestal da Bacia do Rio Corumbataí” (IPEF, 2001), que utilizou o método para a definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal.

A Média Ponderada Ordenada (YAGER, 1988) diferencia-se da Combinação Linear Ponderada,

principalmente pela presença de um segundo grupo de pesos, denominados de pesos de ordenação (EASTMAN, 2001). Os pesos de fatores (Combinação Linear Ponderada), nesse método, são chamados de pesos de compensação (MALCZEWSKI, 1999).

Malczewski (2004) cita que, com o método da Média Ponderada Ordenada, tem-se a flexibilidade de assumir soluções que variam desde totalmente aversas a risco (operador de intersecção AND – um local deve atender a todos os critérios para ser incluído no conjunto de decisão) a totalmente arriscadas (operador de união OR – um local será incluído no conjunto de decisões se pelo menos um critério for atendido).

O método da Combinação Linear Ponderada é, por sua vez, formalizado por médias e, dessa maneira, suas soluções não serão nem arriscadas e nem aversas a risco, porque sempre estarão no meio dos extremos AND e OR (MALCZEWSKI, 2000).

Malczewski (1999) utilizou o método da Média Ponderada Ordenada para determinação de áreas adequadas à urbanização, no México. Segundo o autor, as alternativas propostas apresentaram alta correlação com a realidade da região.

Calijuri *et al.* (2002), na identificação de áreas para a implantação de aterros sanitários em Cachoeiro do Itapemirim, ES, com o método da Média Ponderada Ordenada, também obtiveram soluções compatíveis com as características da paisagem.

Malczewski *et al.* (2003) empregaram esse mesmo método para a priorização de áreas a serem restauradas, na bacia hidrográfica de Cedar Creek, Canadá. Os tomadores de decisão consideraram adequada a solução proposta, porque foi recomendado que a restauração iniciasse onde já existissem áreas naturais.

Araújo (1999) e Jiang e Eastman (2000) compararam soluções obtidas com os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada. O primeiro na avaliação da favorabilidade de mineralizações de metais básicos, no Vale do Ribeira, SP, e o segundo na locação de um parque industrial, no leste da África. Nos dois casos, as soluções obtidas com os métodos da Combinação Linear Ponderada e Média Ponderada Ordenada mostraram-se bem distintas. Com o segundo método observou-se um aumento no número de classes à medida que a solução “caminava” entre os extremos (AND para OR).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi comparar os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada na definição de áreas prioritárias para a conservação e a preservação florestal, em uma bacia hidrográfica altamente antropizada, de matriz essencialmente agrícola e com alto grau de fragmentação de sua cobertura florestal original.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

A bacia do Rio Corumbataí, localizada na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°04'46"S e 22°41'28"S e os meridianos 47°26'23"W e 47°56'15"W, tem uma área aproximada de 170.000 ha.

As culturas agrícolas predominam nessa paisagem, sendo que a pastagem representa por volta de 44% do uso do solo. A cana-de-açúcar, segunda cultura de maior representatividade, corresponde a aproximadamente 26% da área total da bacia. Ocorrem também outros usos, como a fruticultura e os plantios comerciais de eucalipto, que representam, respectivamente, 3% e 7% dessa paisagem (VALENTE e VETTORAZZI, 2003).

A floresta nativa e a savana (cerrado *lato sensu*) que, segundo Koffler (1993), compunham a cobertura original dessa paisagem, encontram-se altamente fragmentadas. Valente e Vettorazzi (2003) citam que restam apenas 11% de floresta nativa e 1,25% de savana nessa bacia.

### Abordagem multicriterial

A comparação entre os métodos (Combinação Linear Ponderada e Média Ponderada Ordenada) da Abordagem Multicriterial foi realizada no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (IDRISI Kilimanjaro), que foi também utilizado na geração dos planos de informação e mapas de critérios.

### Crítérios

Na definição dos critérios (fatores e restrições) e, posteriormente, dos pesos de compensação dos fatores, utilizou-se a Técnica Participatória (EASTMAN *et al.*, 2001), por meio da consulta a especialistas das áreas de Ecologia da Paisagem, Conservação da Natureza, Hidrologia Florestal e Geoprocessamento. Os fatores considerados importantes ao objetivo do trabalho foram:

(1) **Proximidade entre fragmentos de maior área nuclear:** fragmentos maiores e conectados são tipicamente melhores, para a conservação da biodiversidade, do que os pequenos e isolados (Noss *et al.*, 1997);

(2) **Proximidade à cobertura florestal:** com a conectividade restabelecida entre esses fragmentos (diretamente ou por meio de outros fragmentos), sub-populações passam a se interconectar em uma nova unidade (Farina, 1998);

(3) **Proximidade à rede hidrográfica:** as áreas de floresta próximas aos corpos d'água têm uma importância ecológica na dinâmica da paisagem, pois possibilitam a movimentação da fauna e contribuem para a dispersão vegetal que, por sua vez, irá auxiliar na conexão florestal (HARPER *et al.*, 1992; FORMAN e COLLINGE, 1997);

(4) **Distância aos centros urbanos:** para o sucesso das ações é interessante que sejam priorizadas áreas distantes de fontes de distúrbio (centros urbanos e estradas). Os fragmentos próximos aos centros urbanos sofrem com a constante ameaça de redução de sua área ou mesmo de sua extinção total, em função do uso inadequado dessas áreas (GUTZWILLER e BARROW, 2003), aumento do risco de incêndios (CHEN *et al.*, 2001) e pela própria expansão das áreas urbanas (SAUNDERS *et al.*, 1991), dentre outros fatores.

(5) **Distância à malha viária:** Ela é, segundo Geneletti (2003), uma causa direta (redução da área total do ecossistema) e indireta (fragmentação e degradação do ecossistema) da redução de habitats;

(6) **Vulnerabilidade à erosão:** por meio deste fator foi dada maior prioridade aos solos mais erodíveis e em maiores declividades. Sendo mais suscetíveis à erosão, podem ser uma ameaça à conservação e, sobretudo, à preservação florestal (ROSA *et al.*, 2000).

Os mapas de fatores tiveram por base os seguintes planos de informação: fragmentos de floresta (fatores 1 e 2), rede hidrográfica, centros urbanos, malha viária, declividade e erodibilidade do solo (fator 6). Os planos fragmentos de floresta e centros urbanos foram, por sua vez, derivados do mapa de uso e cobertura do solo, gerado por meio da classificação digital supervisionada (algoritmo de máxima verossimilhança, com 93% de exatidão global de classificação) de imagens orbitais obtidas pelo sensor ETM+ do satélite LANDSAT-7 (passagem de 17/08/2002).

Os fragmentos de floresta com área nuclear foram gerados a partir da eliminação de uma faixa de borda (20m) dos mesmos. Foram, ainda, eliminados aqueles fragmentos menores que 1 ha. Os demais planos de informação foram obtidos junto ao banco de dados cartográficos do “Projeto Corumbataí” (IPEF, 2001).

Para elaboração dos mapas de fatores, exceto o de vulnerabilidade à erosão, foram gerados mapas de distâncias, a partir das feições de interesse existentes nos planos de informação, dentro dos limites da bacia. Esses mapas foram normalizados para uma escala comum, com variação de 0 a 255 bytes, de maneira a preservar as relações de prioridade previamente estabelecidas para cada um dos mapas: proximidade (função linear decrescente) ou distância (função linear crescente).

O mapa de fator vulnerabilidade à erosão foi obtido a partir da combinação dos mapas já normalizados (função linear crescente), de declividade e de erodibilidade do solo.

As restrições foram, neste estudo, os próprios limites da bacia, as áreas urbanas e de mineração.

### Combinação Linear Ponderada

Para a combinação dos mapas de fatores por meio da Combinação Linear Ponderada foi necessário definir, previamente, os pesos de compensação dos fatores, que expressam a ordem de importância dos fatores no processo de decisão (EASTMAN, 2001). Utilizou-se o método da Comparação Pareada, proposto por Saaty (1977) no contexto do Processo Hierárquico Analítico. Esse método baseia-se na elaboração de uma matriz de comparação entre os fatores, de acordo com a importância relativa entre pares de fatores (EASTMAN, 2001)

Para a elaboração da matriz de comparação (Tabela 1) os fatores foram comparados, dois a dois, utilizando como referência a escala contínua de nove pontos (Figura 1) e classificados segundo a importância relativa entre eles.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Muito	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito	Extremamente
← Menos importante				Mais importantes →				

(Fonte: Eastman, 2001)

**Figura 1.**

Escala contínua para elaboração da matriz de comparação pareada.  
(Scale used to prepare the pairwise comparison matrix)

**Tabela 1.**

Matriz de comparação pareada entre fatores e pesos de compensação.  
(Pairwise comparison matrix between factors and weights)

Fatores	Vulner.	Dist. urb.	Dist. malha	Prox. rede	Prox. frag.	Prox. área	Pesos de compensação
Vulner.	1						0,0725
Dist. urb.	2	1					0,1171
Dist. malha	2	1	1				0,1171
Prox. rede	2	2	2	1			0,1736
Prox. frag.	2	2	2	1	1		0,1736
Prox. área	4	2	2	3	3	1	0,3462
Taxa de Consistência (TC) = 0,03						Total	1,0000

Vulner.: vulnerabilidade à erosão;

Dist. urb.: distância aos centros urbanos;

Dist. malha: distância à malha viária;

Prox. rede: proximidade à rede hidrográfica;

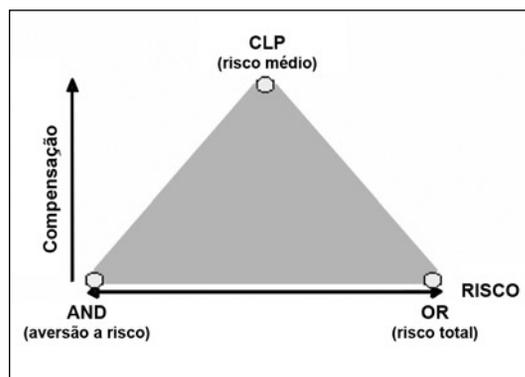
Prox. frag.: proximidade à cobertura florestal;

Prox. área: proximidade entre os fragmentos de maior área nuclear.

A escolha da matriz foi feita a partir da Taxa de Consistência (TC) e dos pesos de compensação que melhor representavam o que se considera (com base na revisão de literatura, em projetos desenvolvidos e na Técnica Participatória) como ordem de importância dos fatores, de acordo com o objetivo do projeto. Segundo Saaty (1980), a Taxa de Consistência (TC) indica a probabilidade de que os valores de comparação entre os fatores tenham sido gerados aleatoriamente. O autor cita que os valores de TC devem estar sempre abaixo de 0,10 e, no caso de estarem acima deste valor, o autor sugere que se reorganize a matriz, alterando os valores de comparação entre os fatores.

### Média Ponderada Ordenada

Para a combinação dos mapas de fatores por meio da Média Ponderada Ordenada foi necessária, ainda, a definição dos pesos de ordenação dos fatores, que controlam a maneira como os fatores são agregados e o nível de compensação entre eles (MALCZEWSKI, 1999). Esses pesos de ordenação foram determinados dentro do espaço de estratégia de decisão (Figura 2).



**Figura 2.** Espaço de estratégia para a tomada de decisão. (Adaptada de Eastman, 2001) (Decision strategy space to decision support - adapted from Eastman, 2001)

A maneira como os fatores serão compensados é que controla o modo de como o operador (Média Ponderada Ordenada) agrega os fatores, no *continuum* entre os extremos (AND e OR) (EASTMAN e JIANG, 1996). Se a maior parte dos pesos de ordenação for assinalada à esquerda, à direita ou ao centro (Figura 2), isto irá determinar a posição na dimensão de risco assumido no processo de tomada de decisão (MALCZEWSKI, 1999).

Os parâmetros ANDness e ORness (risco assumido) e compensação caracterizam, segundo Jiang e Eastman (2000), a natureza da Média Ponderada Ordenada:

$$ANDness = \frac{1}{n-1} \sum [(n-1)W_i];$$

$$ORness = 1 - ANDness; e$$

$$Compensação = 1 - \sqrt{\frac{\sum (W_i - 1/n)^2}{n-1}}$$

Onde:

n = número total de fatores;

i = ordem do fator; e

W = peso de ordenação do fator.

Na determinação dos pesos de ordenação foi considerado, portanto, o risco (R) assumido no processo de tomada de decisão, determinado a partir da fórmula de ANDness. Considerou-se duas vezes o intervalo de confiança de 10% a partir do risco médio (equivalente a 0,5 no *continuum* de risco – Figura 2) para caracterizar os intervalos de risco, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2.**

Risco assumido para a tomada de decisão (Risk-taking to decision support)

Intervalo de Risco	Risco assumido
0,00 – 0,40	Alto
0,40 – 0,50	Médio alto
0,50 – 0,60	Médio baixo
0,60 – 1,00	Baixo

Os pesos de ordenação para a matriz de comparação pareada (Tabela 1) são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.**

Pesos de ordenação para a matriz de comparação pareada (Order weights for the pairwise comparison matrix)

Fatores	Pesos de ordenação
Vulner.	0,0800
Dist. urb.	0,1800
Dist. malha	0,1800
Prox. rede	0,0800
Prox. frag.	0,0800
Prox. área	0,4000
Total	1,0000
Risco	0,4000
Compensação	0,7800

Para auxiliar na definição desses pesos de ordenação foi necessário entender o comportamento (ordem de ranqueamento) de cada fator. Associando-se todo o peso de ordenação (total = 1) a cada um dos mapas de fatores foi sendo obtido, sucessivamente, o seguinte ranqueamento dos fatores: distância à malha viária, distância aos centros urbanos, vulnerabilidade à erosão, proximidade entre fragmentos de maior área nuclear, proximidade à cobertura florestal e proximidade à rede hidrográfica. A importância de entender esse ranqueamento dos fatores está relacionada a quanto cada fator foi compensado, isto considerando, também, sua importância no processo de tomada de decisão.

### Definição das classes de prioridade

Foram definidas, para os mapas produzidos por meio dos métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada, cinco classes de prioridade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. O intervalo de classe foi determinado a partir da avaliação dos histogramas dos mapas (0 – 255 bytes) e da definição dos limites inferior e superior de variação.

### Comparação entre mapas de prioridades

Produziu-se uma matriz de confusão a partir de pontos amostrados nos mapas de áreas prioritárias, em classes, obtidos por meio dos dois métodos. Foram utilizados 142 pontos, número este determinado estatisticamente, distribuídos de maneira estratificada ao acaso. O critério foi o mesmo empregado na verificação da exatidão de classificação do mapa de uso e cobertura do solo da bacia, podendo ser consultado em Valente e Vettorazzi (2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

No mapa de prioridades em classes, produto da combinação dos fatores por meio da Combinação Linear Ponderada (Figura 3), observou-se que houve predominância da classe de prioridade alta. Ela representou, aproximadamente, 53% da área da bacia, enquanto que as classes com prioridades média, muito alta e baixa corresponderam, respectivamente, a 26%, 18% e 3%.

A predominância dessa classe de prioridade está relacionada ao fato de se ter a maior parte da bacia associada a valores (mapa com escala variando de 0 a 255 bytes) próximos entre si.

Esse fato ocorreu, por sua vez, porque esse mapa de prioridades reflete a excessiva influência dos mapas de proximidades à rede hidrográfica e à cobertura florestal. Ele não possibilita, portanto, a priorização de áreas de acordo com a importância dos fatores, previamente estabelecida.

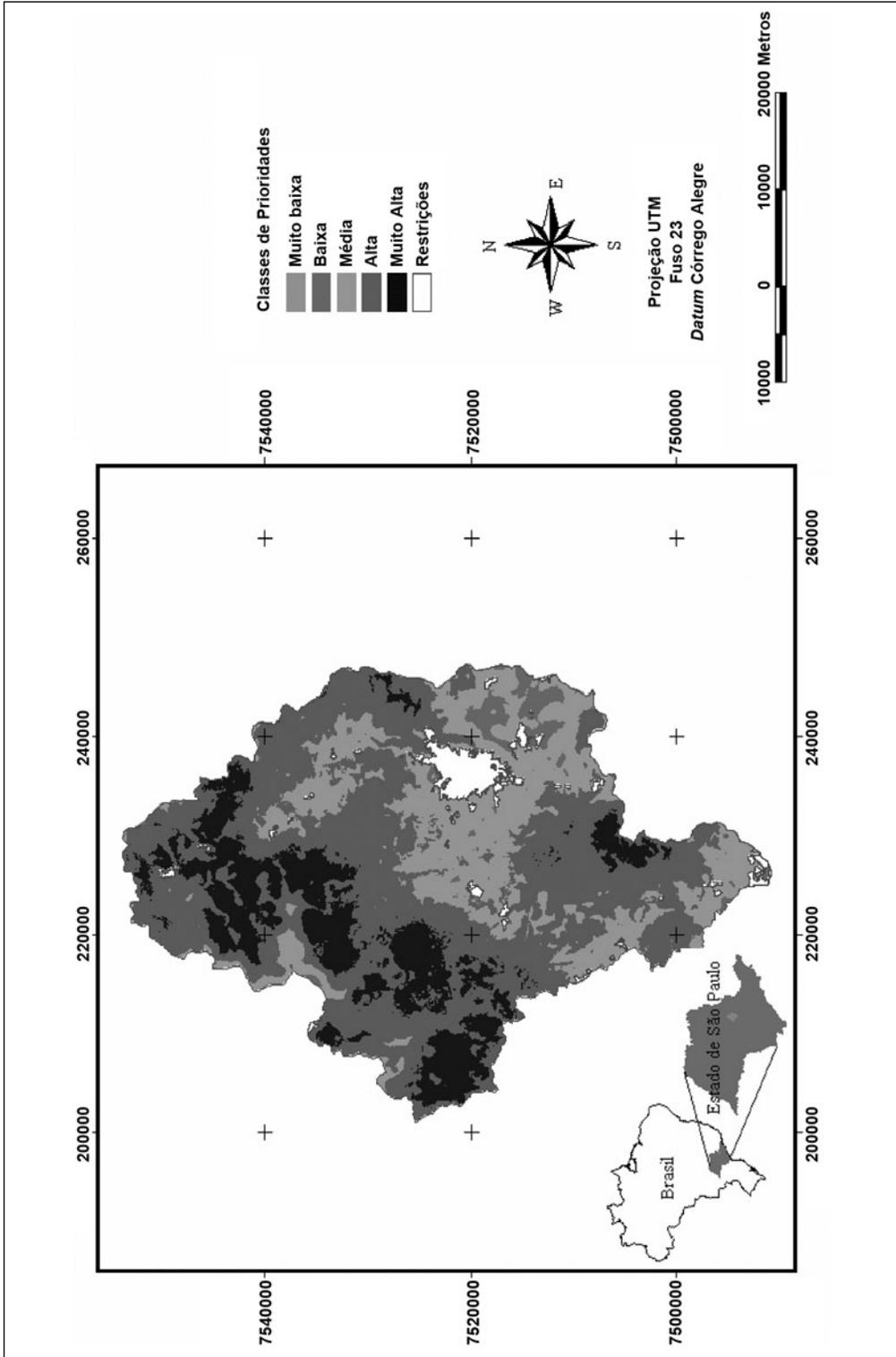
A influência desses fatores, no processo de tomada de decisão, está relacionada à própria distribuição que as feições (rede hidrográfica e fragmentos de floresta) de cada mapa apresentam na área de estudo. Como os corpos d'água estão distribuídos por toda a bacia e, para o fator proximidade à rede hidrográfica, quanto mais próximo se está dos corpos d'água maior é a prioridade associada, houve priorização na maior parte da bacia. Associado ao fato desse fator ser, a princípio, um dos mais importantes (peso de compensação = 17,36%; Tabela 1), no processo de tomada de decisão obteve-se essa forte influência do fator no mapa de prioridades, produto da Combinação Linear Ponderada.

Com o fator proximidade à cobertura florestal o mesmo raciocínio pode ser aplicado. Os fragmentos de floresta, independentemente de seus tamanhos, estão distribuídos por toda a paisagem. Para esse fator, quanto mais próximo a esses fragmentos, maior a prioridade (valores próximos a 255 bytes). Como lhe foi atribuído um dos maiores pesos de compensação (17,36%; Tabela 1), ele passou a exercer forte influência no mapa de prioridades.

A distribuição dos corpos d'água e dos fragmentos de floresta contribuiu, ainda, para que esses mapas de proximidade fossem os fatores de maior ranqueamento no processo de tomada de decisão.

Ressalta-se, desse modo, uma desvantagem da Combinação Linear Ponderada. Os fatores recebem diferentes pesos de compensação e existe a ponderação relativa entre eles. Entretanto, não se podem inserir, no processo de tomada de decisão, as características intrínsecas de cada fator, ou seja, não é possível controlar a ordem de importância de cada fator.

Jiang e Eastman (2000) citam que os mapas produzidos com a agregação dos fatores por meio da Combinação Linear Ponderada equivalem aos mapas com risco médio ( $R = 0,50$ ), que apresentam compensação total entre os fatores (todos os fatores com igual peso de ordenação), obtidos por meio da Média Ponderada Ordenada.



**Figura 3.** Áreas prioritárias: combinação dos fatores por meio da Combinação Linear Ponderada, na bacia do Rio Corumbataí, SP. (Priority areas: aggregation of factors through the Weighted Linear Combination, in the Corumbataí River basin, SP)

O método da Combinação Linear Ponderada pode ser considerado, portanto, uma variação do Método da Média Ponderada Ordenada. Suas soluções, segundo Malczewski *et al.* (2003), não serão nem arriscadas e nem aversas a risco, porque sempre estarão no meio dos extremos AND e OR. Caracteriza-se, dessa maneira, por ser um método formalizado por médias.

O mapa de prioridades, produto da combinação dos fatores por meio da Média Ponderada Ordenada (Figura 4), apresentou risco alto ( $R = 0,40$ ) e compensação de 78% entre seus fatores. Observa-se que as classes de prioridade média, alta e muito alta passaram, nesse mapa, a ocupar as regiões da bacia predominantemente classificadas como de alta prioridade no mapa anterior, conforme indica também a matriz de confusão (Tabela 4).

Com base nessa matriz obteve-se apenas 31% de coincidência entre pontos amostrados nos dois mapas de prioridades. As classes, individualmente, apresentaram coincidência de aproximadamente 44% para a prioridade muito alta, 25% para a baixa, 16% para a média e 14% para alta.

A bacia do Rio Corumbataí, de acordo com esse mapa de prioridades com risco alto, apresentou 34% de sua área com prioridade média, 26% com alta, 21% com muito alta, 18% com baixa e apenas 1% com prioridade muito baixa.

Houve uma melhor definição das classes de prioridades, principalmente das com prioridade muito alta e, ainda, a tendência de interligação entre as regiões de cada subclasse de prioridade.

Pode-se dizer que, na bacia do Rio Corumbataí, o mapa de prioridades resultante da Combinação Linear Ponderada possibilitou a identificação de uma grande região prioritária (classe de alta prioridade). O mapa de prioridades resultante da Média Ponderada Ordenada possibilitou o detalhamento da primeira região, em áreas com

diferentes níveis de prioridade, ou seja, possibilitou um maior detalhamento da região quanto à priorização de áreas para a conservação e a preservação florestal.

A espacialização das classes de prioridades, no mapa resultante da Média Ponderada Ordenada, pode ser explicada pela correspondência entre a concentração de fragmentos de floresta com área nuclear e os valores da escala de prioridades (0 – 255 bytes). As regiões da bacia onde esses fragmentos são praticamente inexistentes foram associadas aos menores valores de prioridade e, em contrapartida, as marcadas pela maior concentração desses fragmentos foram associadas aos maiores valores de prioridade. Existe, ainda, uma terceira região com frequência intermediária desses fragmentos e com valores também intermediários na escala de prioridades.

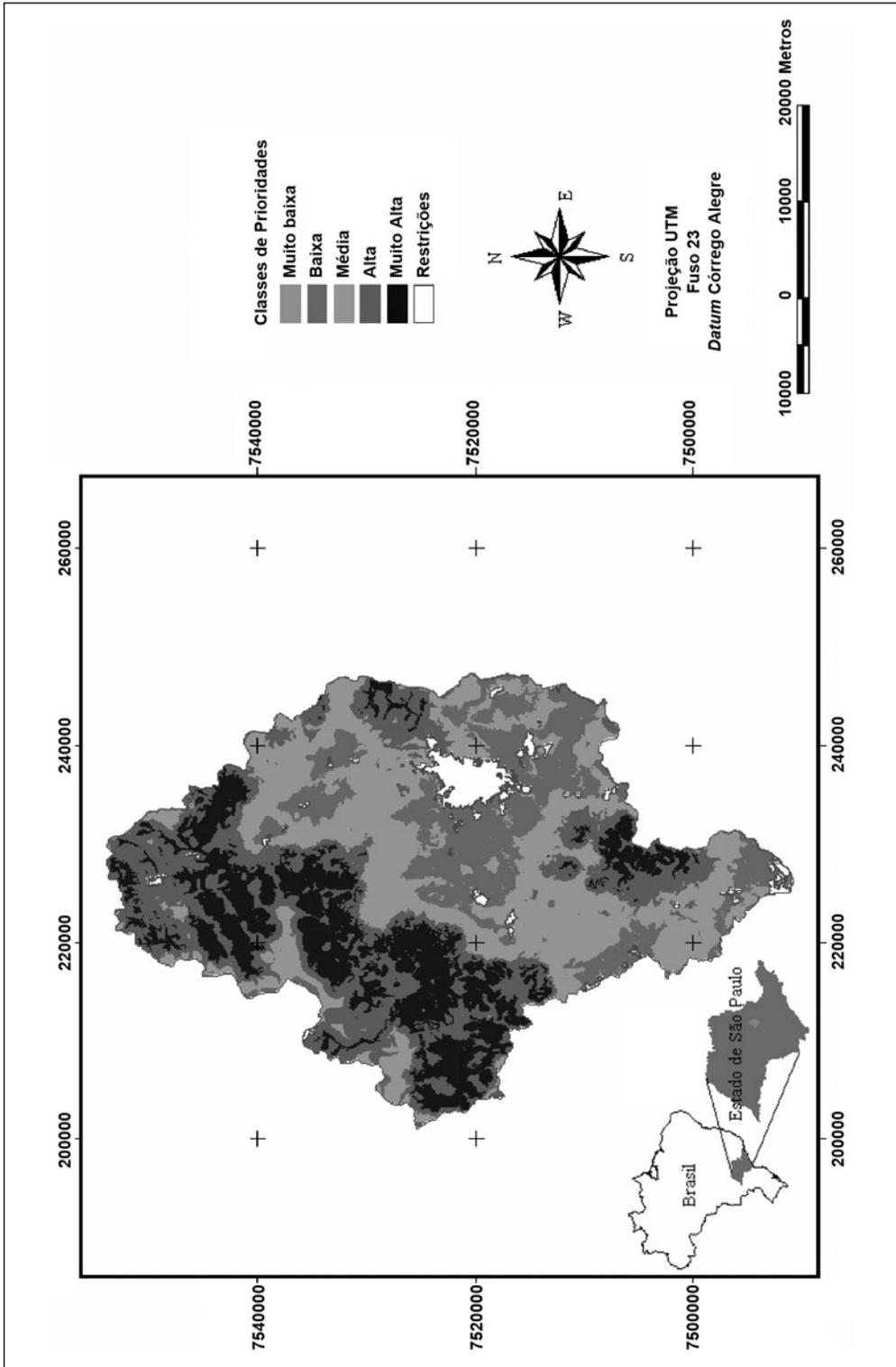
Atribuindo-se maior peso de ordenação ao fator proximidade entre fragmentos de maior área nuclear obteve-se a priorização de maneira a promover, de modo geral, primeiro a união dos fragmentos de floresta com maior área nuclear (prioridade muito alta) e, a partir dessa união, a sucessiva expansão dessas regiões de prioridade muito alta (por meio das classes alta, média, baixa e muito baixa), respeitando-se a importância dos demais fatores no processo de tomada de decisão.

A ordem de importância dos fatores foi respeitada porque houve, ainda, a baixa compensação (alto peso de compensação e baixo peso de ordenação) dos mapas de proximidades à rede hidrográfica e à cobertura florestal e, em contrapartida, a alta compensação (baixo peso de compensação e alto peso de ordenação) dos mapas de distâncias à malha viária e aos centros urbanos. Desse modo, amenizou-se aquela excessiva influência dos mapas de proximidades observada no mapa de prioridades gerado pela Combinação Linear Ponderada.

**Tabela 4.**

Matriz de confusão para os mapas de prioridades obtidos por meio dos métodos: Combinação Linear Ponderada e Média Ponderada Ordenada  
(Confusion matrix for the priority maps produced through the methods: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Average)

Combinação Linear Ponderada	Média Ponderada Ordenada					Total
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta	
Classes de Prioridades						
Muito baixa	0					
Baixa	6	2				8
Média		27	5			32
Alta			39	27	11	77
Muito alta				10	8	18
Total	6	29	44	37	19	135



**Figura 4.** Áreas prioritárias: combinação dos fatores por meio da Média Ponderada Ordenada, na bacia do Rio Corumbataí, SP. (Priority areas: aggregation of factors through the Ordered Weighted Average, in the Corumbataí River Basin, SP)

Os pesos de ordenação possibilitaram, portanto, a priorização de áreas considerando as relações de importância, dos fatores, para esse processo de tomada de decisão, o que não foi possível com o produto da Combinação Linear Ponderada.

Os pesos de ordenação são a base do método da Média Ponderada Ordenada. Eles possibilitam inserir as características intrínsecas de cada fator, ou seja, ponderar de maneira a considerar o comportamento desses fatores e sua importância em relação aos demais (ordenamento) e não somente sua importância absoluta, como ocorre no método da Combinação Linear Ponderada.

Jiang e Eastman (2000) citam que o método da Média Ponderada Ordenada possibilita a obtenção de várias soluções ao longo do *continuum* existente entre os operadores AND e OR, conforme indica a Figura 2. Essas soluções implicam em diferentes grupos de pesos de ordenação e riscos assumidos no processo de tomada de decisão.

No caso da bacia do Rio Corumbataí, esses pesos de ordenação mostraram-se adequados, pois refletiram a importância dos fatores previamente estabelecida. Para os casos em que não se tem essa certeza, Malczewski (2004) sugere que sejam avaliados diferentes grupos de pesos de ordenação e as soluções propostas.

Malczewski (1999) complementa que nem sempre a melhor solução é aquela de menor risco. Devem-se avaliar as características da paisagem e as soluções propostas para determinar-se qual a melhor alternativa.

## CONCLUSÕES

Para as condições em que o trabalho foi realizado conclui-se que:

- O método da Média Ponderada Ordenada possibilita a melhor definição de áreas prioritárias para a conservação e a preservação florestal do que o método da Combinação Linear Ponderada;
- O método da Combinação Linear Ponderada não possibilita inserir a importância relativa (ranqueamento) dos fatores, apresentando soluções generalizadas e nem sempre coerentes com a realidade;
- A melhor definição de áreas prioritárias do método da Média Ponderada Ordenada está relacionada aos pesos de ordenação, que controlam a maneira como os fatores são agregados e o nível de compensação entre eles;

- O método da Média Ponderada Ordenada é flexível, fácil de ser implementado e possibilita a interação de conhecimentos (pesquisadores, analistas etc.) e características da paisagem no processo de tomada de decisão; e

- Para a utilização dessa abordagem e método deve-se ter um conhecimento da paisagem estudada, para que se definam com coerência os pesos de compensação e de ordenação e se faça uma melhor avaliação das alternativas propostas.

## AUTORES E AGRADECIMENTOS

**Roberta de Oliveira Aversa Valente** é doutora em Recursos Florestais da ESALQ/USP

**Carlos Alberto Vettorazzi** é Professor Doutor do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP - Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: [cavettor@esalq.usp.br](mailto:cavettor@esalq.usp.br)

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudos concedida à primeira autora.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, C.C. **Aplicação de geoprocessamento na análise de favorabilidade para mineralizações de chumbo, zinco e cobre nas folhas Cerro Azul e Apiáí, Vale do Ribeira, (SP e PR)**. 1999. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

BAKER, W.L.; CAI, Y. The role of programs for multi-scale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. **Landscape Ecology**, v.7, p.291-302, 1992.

CALIJURI, M.L.; MELO, A.L.O.; LORENTZ, J.F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, v.4, n.2, p.231-250, 2000.

CHEN, K.P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. **Environmental Modelling & Software**, v.16, n.4, p.387-397, 2001.

DUNSTER, J.; DUNSTER, K. **Dictionary of natural resource management**. Vancouver: University of British Columbia, 1996. 379p.

EASTMAN, J.R. Decision support: decision strategy analysis. **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v.2, 22p.

- EASTMAN, J.R.; JIANG, H. Fuzzy measures in multi-criteria evaluation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT IN NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL STUDIES, 2., 1996, Fort Collins. **Proceedings**. 1996. p.527-534.
- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235p.
- FORMAN, R.T.T.; COLLINGE, S.K. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. **Landscape and Urban Planning**, v.37, p.129-135, 1997.
- GENELETTI, D. A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. **Land Use Policy**, v.21, p.149-160, 2004.
- GENELETTI, D. Biodiversity impact assessment of roads: an approach based on ecosystem rarity. **Environmental Impact Assessment Review**, v.23, p.343-365, 2003.
- GUTZWILLER, K.J.; BARROW Jr., W.C. Influences of roads and development on bird communities in protected Chihuahuan Desert landscapes. **Biological Conservation**, v.113, p.225-237, 2003.
- HARPER, K.T.; SANDERSON, S.C.; McARTHUR, E.D. Riparian ecology in Zion National Park, Utah. **USDA Forest Service. Int. General Technical Report**, n.298, p.32-42, 1992.
- IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Conservação dos recursos hídricos e da cobertura florestal na bacia do Rio Corumbataí**. Piracicaba: IPEF, 2001. 118p. (Relatório do projeto).
- JIANG, H.; EASTMAN, J.R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, v.14, n.2, p.173-184, 2000.
- KANGAS, J.; STORE, R.; LESKINEN, P.; MEHTÄTALO, L. Improving the quality of landscape ecological forest planning by utilizing advanced decision-support tools. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.132, p.157-171, 2000.
- KOFFLER, N.F. Uso das terras da bacia do Rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, v.18, n.1, p.135-150, 1993.
- MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999. 362p.
- MALCZEWSKI, J. On the use of Weighted Linear Combination method in GIS: common and best practice approaches. **Transactions in GIS**, v.4, n.1, p.5-22, 2000.
- MALCZEWSKI, J.; CHAPMAN, T.; FLEGEL, C.; WALTERS, D.; SHRUBSOLE, D.; HEALY, M.A. GIS-multi-criteria evaluation with Ordered Weighted Averaging (OWA): developing management strategies for rehabilitation and enhancement projects in the Cedar Creek watershed. **Environment and Planning**, v.35, n.10, p.1769-1784, 2003.
- MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, v.62, p.3-65, 2004.
- NOSS, R.F.; O'CONNELL, M.; MURPHY, D.D. **The science of conservation planning: habitat conservation under the endangered species**. Washington: Island Press, 1997.
- ROSA, D.; MORENO, J.A.; MAYOL, F.; BONSON, T. Assessment of soil erosion vulnerability in western Europe and potential impact on crop productivity due to loss of soil depth using the ImpelERO model. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.81, p.179-190, 2000.
- SAATY, T. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Psychology**, v.15, p.234-281, 1977.
- SAATY, T. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287p.
- SAUNDERS, D.A.; HOBBS, R.J.; MARGULES, C.R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v.5, p.18-32, 1991.
- VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. Mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.196, p.1-13, maio 2003.
- VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R.O.A.; BALLESTER, M.V.R. Forest fire hazard mapping in a GIS environment for a river basin in the State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., 2000, Lake Buena Vista. **Proceedings**. Ann Arbor: ERIM International, 2000. v.1, p.10-12.
- VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. 125p.
- YAGER, R.R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v.18, n.1, p.183-190, 1988.