

Análise multicritério para definição de áreas prioritárias para implantação de projeto de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos no município de Brumadinho, MG.

Laís Ferreira Jales¹
Luiz Gustavo Nunes Vieira da Silva²
Francisco Mourão Vasconcelos²

¹ Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Programa de Pós Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, 31270-900
laisjales@hotmail.com

² Associação Mineira de Defesa do Ambiente – AMDA
Rua Timbiras, 1560 – 17º andar - Lourdes
Belo Horizonte /MG CEP: 30140-061
atendimento@amda.org.br

Abstract: The integration of geographic information system (GIS) and methods of multicriteria analysis has been used as a means to assist the decision-making for solving problems of environmental planning and management in today's world. With this approach, this paper aims to present the multicriteria analysis methodology used to select the sub-basins hydrographic with the greatest potential to be prioritized with the implementation of the Oasis Project, according to the criteria analyzed. This is a project of payment for environmental services, applied in the municipality of Brumadinho, in the state of Minas Gerais, which intends to reward landowners who fit the profile of the project and retain their natural areas. We used ten environmental characteristics as criteria for selection of these favorable areas. Was assigned costs for each class of chosen criteria and later, with the algebra of maps, a map was generated summarizing the result of integrating these variables. The visualization of results of model through the thematic map indicate the applicability of the technique multicriteria in choice of locations most suitable for implementation of the Project, in accordance with the ten criteria analyzed. The result will help in making the decision to start the project and selection of farms to be benefited.

Palavras-chave: multicriteria, payments for ecosystem services, GIS, multicritério, pagamento por serviços ecossistêmicos, SIG

1. Introdução

O meio ambiente fornece gratuitamente uma gama de bens e serviços que são de interesse direto ou indireto do ser humano, permitindo sua sobrevivência e seu bem-estar. Porém, com a atual degradação que os sistemas ambientais vem sofrendo, o potencial da natureza em oferecer estes serviços tem sido enfraquecido pelos impactos antrópicos. Com isto, o pagamento por serviços ecossistêmicos (PSE) surge como uma opção para contribuir na conservação e preservação ambiental (Geluda e Young, 2005).

Os projetos de PSE são ações eficientes e potencialmente sustentáveis. Funcionam como mecanismos de compensação econômica, pois conserva o que é importante para o bem estar humano sendo baseado no interesse de usuários e provedores dos serviços ambientais, isto é, aqueles que fazem aumentar a capacidade dos ecossistemas de restaurar ou melhorar suas funções (Atanazio, 2011).

O Projeto Oásis Brumadinho é um exemplo desta ferramenta. O projeto é desenvolvido pela Associação Mineira de Defesa do Ambiente (Amda) e Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, com o apoio do Ministério Público de Minas Gerais. Tem como foco principal

desenvolver modelo em premiação de proprietários rurais pelos serviços ambientais providos por suas áreas, por meio do mecanismo de PSE.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo apresentar as técnicas utilizadas para seleção das sub-bacias do município de Brumadinho (MG), que apresentam maior prioridade, de acordo com os critérios estabelecidos, para implantação do Projeto Oasis, por meio do método de análise multicritério em um sistema de informação geográfica (SIG). Essa estratégia de ação vem sendo apontada como de extrema importância para o planejamento ambiental, trazendo elementos significativos para o processo de tomada de decisão.

O procedimento de análise de multicritérios baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final, utilizando-se fatores de ponderação sempre que necessário (Moura, 2007). Esta técnica tem sido empregada em diversos estudos relacionados ao planejamento ambiental, devendo ser utilizada em situações nas quais a análise de apenas uma variável não representa a realidade do fenômeno estudado (Santos, 2010).

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Caracterização da área de estudo

A análise multicritério deste trabalho foi aplicada no município de Brumadinho, MG (Figura 1), localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), na bacia hidrográfica do Rio Paraopeba. Para definir as localidades dentro do município onde o projeto será desenvolvido, optou-se por dividir o território municipal em sub-bacias hidrográficas, sendo elas: Ribeirão Ferro-Carvão, Ribeirão dos Marinheiros, Ribeirão Casa Branca, Ribeirão Piedade, Águas Claras e Rio Manso.

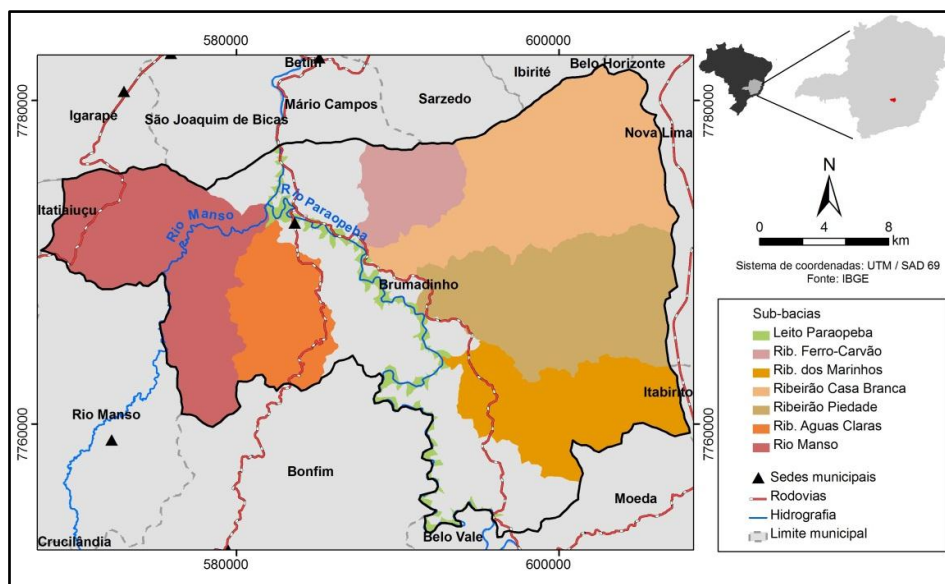


Figura 1: Localização do município de Brumadinho, MG

O município está situado no domínio fitofisionômico da Floresta Estacional Semidecidual em uma forte transição para o Cerrado. Em altitudes superiores tem-se a ocorrência da vegetação campestre, demarcando a linha da cumeada e encostas mais elevadas das diversas serras regionais. Tem grande importância para a RMBH devido à presença de mananciais de água.

Os principais impactos ambientais provêm da intensificação de atividades econômicas, como pressão imobiliária, atividades de mineração e o estabelecimento de áreas agricultáveis. Em contrapartida, observam-se grandes áreas verdes constituindo unidades de conservação (Plano Diretor, 2011).

2.2 Definição dos critérios

Os modelos baseados em decisão multicritério são indicados para problemas onde existem vários critérios de avaliação. Assim, foram definidos dez critérios que apresentassem um bom direcionamento para priorização das sub-bacias hidrográficas na implantação do Projeto Oasis, onde será realizado o cadastro de propriedades rurais:

1) Áreas de Preservação Permanente (APP)

Para delimitar as APPs, conforme a Resolução do CONAMA nº 303/2002 (CONAMA, 2002), utilizou-se a metodologia indicada por Louzada et al. (2010) e Peluzio et al. (2010). Para este trabalho, foi considerado de igual importância às APPs, a classe especial identificadas como Áreas de Uso Restrito (AUR), definida no Art10º do Código Florestal (Lei nº4.771 de 15 de setembro de 1965), que determina como não permitido a derrubada de florestas, situadas em áreas de inclinação entre vinte e cinco a quarenta e cinco graus, só sendo toleradas a extração de toros, quando em regime de utilização racional, que vise rendimentos permanentes.

Para delimitação espacial da APP de topo de morro, utilizou-se um modelo digital de elevação (MDE) originário do mapeamento do relevo terrestre SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que foram pós-processadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do projeto TOPODATA, com aproximadamente 30 metros de resolução.

A identificação de morros e montanhas é feita invertendo-se o MDE, sendo os topos identificados como depressões, determinando assim, a direção de fluxo e fluxo acumulado para a bacia invertida. Com isso, os topos de morro foram demarcados pela linha do acúmulo de água. Para cada depressão, identifica-se a respectiva bacia de contribuição, cujo contorno representará, então, a base do morro ou montanha.

Após a seleção da elevação do terreno que satisfazia os critérios mencionados, os valores de altimetria, e assim com a indicação dos seus topos e a suas respectivas bases delimitaram-se as áreas equivalentes ao seu terço superior.

As APP de cursos d'água e de nascentes foram definidas com a ferramenta de análise de proximidade do SIG (*buffer*), delimitando uma largura de trinta metros e um raio de cinquenta metros, respectivamente. As APP de encosta e a classe especial foram definidas através do modelo digital de elevação, selecionado as áreas de inclinação de interesse.

2) Densidade de drenagem

As superfícies de densidade delimitadas a partir do SIG são eficientes para mostrar a concentração das localizações de linhas, no caso, o curso d'água. A ferramenta utilizada estima a quantidade de rede hidrográfica por unidade de área a partir de características de polilinha que caem dentro de um raio em torno de cada célula (pixel), sendo esta a definição de densidade de drenagem seguida neste trabalho. Utilizou-se os dados da rede hidrográfica fornecido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) em escala 1:100.000.

3) Proteção de áreas de mananciais de abastecimento público

Para este trabalho, considerou-se importante delimitar as áreas situadas à montante dos pontos de captação de água para abastecimento público, a fim de priorizar e enfatizar a importância de conservação das mesmas, conforme a Lei 10.793/1992. Com a utilização do SIG, foi realizada a partir destes pontos uma vetorização manual destas áreas.

4) Uso e ocupação do solo

A classificação de uso e ocupação do solo foi desenvolvida pelo Instituto Estadual de Florestas em parceria com a Universidade Federal de Lavras, em escala de 1: 150.000. As tipologias adotadas foram: mineração, urbanização, água, floresta estacional, cerrado, campo rupestre e campo.

5) Potencial erosivo

Este plano de informação foi desenvolvido através de análise multicritério utilizando os critérios declividade, solo, geologia e uso e ocupação do solo.

6) Áreas prioritárias para conservação

Foram utilizados os dados disponíveis pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), que desenvolveram o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, conhecido como PROBIO (MMA, 2012).

7) Proximidade às Unidades de Conservação de Proteção Integral

8) Áreas localizadas em Unidades de Conservação de Uso Sustentável

Para estes critérios, foi utilizado o mapeamento das unidades de conservação do estado de Minas Gerais, desenvolvido pelo IEF/MG. A classificação inclui áreas de proteção integral e áreas de uso sustentável, conforme o Sistema Nacional de Unidades de Conservação –SNUC, instituído pela Lei 9.985/2000 (BRASIL, 2000).

9) Índice de importância dos fragmentos florestais para conectividade da paisagem

Para gerar um plano de informação que caracterizasse o critério definido como áreas possíveis de serem integradas em um corredor ecológico, optou-se por espacializar uma métrica de conectividade. O índice em questão (Equação 1) foi o Índice Integral de Conectividade (*IIC*), disponíveis no software *Conefor Sensinode 2.2* (Saura e Torné, 2009).

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2} \quad (1)$$

Onde n é o total de fragmentos florestais na paisagem, a_i e a_j são os atributos (neste caso, áreas em hectares) dos fragmentos i e j , A_L é o atributo da paisagem máxima (neste caso, área total da paisagem em hectares), nl_{ij} é o número de conexões entre a menor distância (neste caso euclidiana) dos fragmentos i e j . Quando os fragmentos não estão conectados, o numerador da equação é igual a 0 ($nl_{ij} = \infty$).

O índice *IIC* foi fundamentado na abordagem de disponibilidade de habitat, ou seja, considera qualquer fragmento, mesmo quando não conectado estruturalmente, como um lugar onde possa existir conectividade. Os resultados variam de 0 a 1, sendo que os valores mais elevados indicam maior conectividade.

10) Áreas de ecótono

As áreas de transição ambiental foram definidas a partir de imagens do satélite *Rapideye* e trabalhos de campo, realizadas por especialistas com conhecimentos consolidados da região de estudo.

2.3 Processamento dos dados

O tratamento dos dados foram realizados através do software ArcGIS 9.3. Foi utilizada a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e datum SAD69 (South America Datum).

Os custos atribuídos (Tabela 1) foram baseados nos conhecimentos dos especialistas envolvidos neste projeto e nos trabalhos de Martins et al. (1998), Santos (2008), Soares-Filho et al. (2010) e Ferrari et al. (2012).

Tabela 1: Custos atribuídos aos critérios de priorização das sub-bacias

Crítérios	Classes	Custos
Áreas de preservação permanente	Presença	1
	Ausência	2
Densidade de drenagem	Alta	1
	Média	2
	Baixa	3
Áreas de proteção dos mananciais de abastecimento público	Presença	1
	Ausência	2
Uso e ocupação do solo	Campo	2
	Campo rupestre	1
	Cerrado	1
	Floresta	1
	Mineração	3
	Urbanização	3
	Água	2
Potencial erosivo	Alto	3
	Médio	2
	Baixo	1
Áreas prioritárias para conservação	Presença	1
	Ausência	2
Proximidade às UC Proteção Integral	Alta	1
	Baixa	2
Propriedades localizadas dentro de UC Uso Sustentável	Presença	1
	Ausência	3
Índice de importância dos fragmentos florestais para conectividade da paisagem	Alta	1
	Média	2
	Baixa	3
Áreas de ecótono	Presença	1
	Ausência	3

Foi gerada a imagem matricial de custos dos critérios analisados para posteriormente ser realizada a sobreposição de todas informações. Os custos variaram de 1 a 3, onde classes com

maior viabilidade para implantação do projeto apresentaram menores valores, e os maiores custos foram atribuídos às classes de menor adequabilidade. No caso deste trabalho, atribuiu-se a mesma importância para cada variável, sendo assim, foi realizada com a álgebra de mapas a soma dos planos de informação, sem ter necessidade de aplicar a média simples ponderada nesta etapa. Assim, foi possível gerar a imagem matricial de custo total, no qual demonstra a representação do mapa síntese, objetivo da análise multicritério.

3. Resultados e Discussão

A metodologia proposta de análise multicriterial possibilitou a geração de um mapa síntese de caracterização ambiental da área, sendo um importante instrumento para tomada de decisão pelos gestores do projeto Oásis.

O mapa final (figura 2) foi reclassificado em categorias alta, média e baixa, em relação à priorização das áreas. É possível analisar que a sub-bacia do Ribeirão Casa Branca apresentou áreas com maior priorização para implantação do projeto em relação aos critérios avaliados.

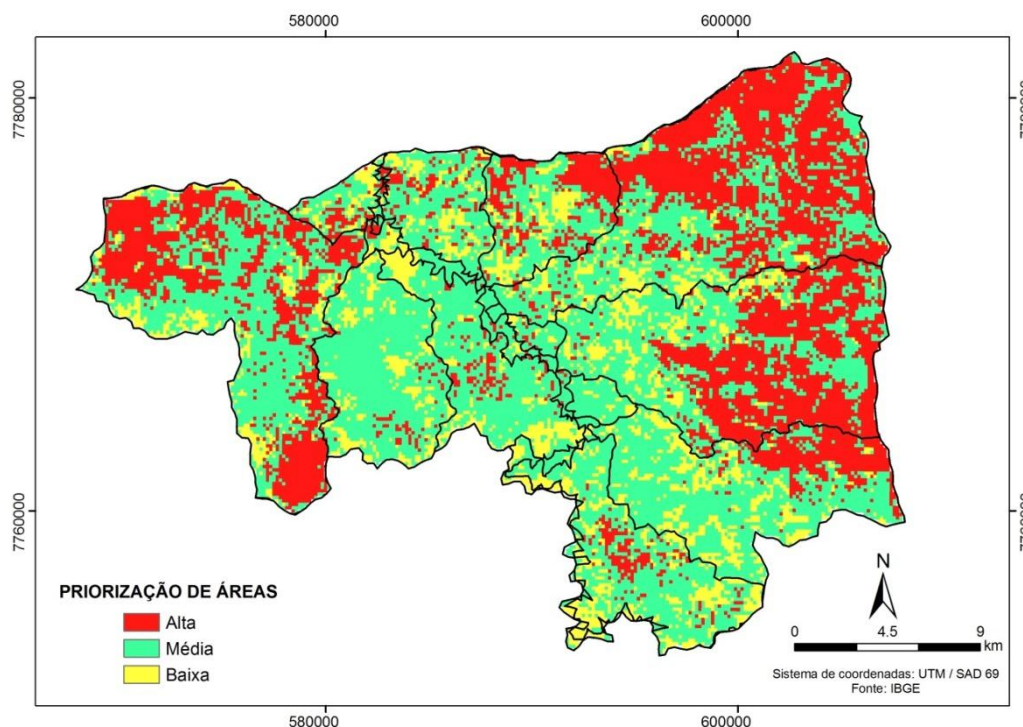


Figura 2: Áreas prioritárias para implantação do Projeto Oásis Brumadinho

Propriedades interessadas, que apresentarem características favoráveis e atenderem os requisitos do projeto, serão cadastradas em um banco de dados para posterior valoração dos itens e por fim, serão premiadas através do sistema de pagamento por serviços ambientais.

A sub-bacia do Ribeirão Piedade também apresentou áreas significativas para serem priorizadas na tomada de decisão para escolha da segunda sub-bacia a ser beneficiada pelo projeto.

As áreas indicadas com maior adequabilidade corroboram com a realidade, pois a leste do município, em sua porção norte-sul encontra-se o alinhamento da Serra da Moeda com cerca de 70 km de extensão. Também há a presença das seguintes unidades de conservação de

proteção integral: Parque Estadual Serra do Rola Moça e uma pequena porção do Monumento Natural Serra da Moeda, com função de preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. Nesta região ainda há presença de fragmentos remanescentes florestais que indicaram maior potencial de conectividade, contribuindo para manutenção da diversidade ecológica.

A presença de transição ambiental de floresta-cerrado e floresta-cerrado-campo rupestre também influenciou nos resultados, pois o município é favorecido pelas características do ambiente transicional entre estes diferentes domínios geomorfoclimáticos. As fitofisionomias, aliadas ao uso e ocupação do solo, estabelecem um verdadeiro mosaico territorial no espaço municipal.

As áreas com menor potencial para implantação do Projeto apresentam maior índice de urbanização. Nas últimas décadas, Brumadinho sofreu rápidas alterações no uso e ocupação do solo. A proximidade de Belo Horizonte, o acesso facilitado pelas rodovias BR-040 e BR-381 e suas belezas naturais atraiu para o município condomínios, loteamentos e inúmeros pequenos chacreamentos para uso em finais de semana. Uma das atividades econômicas que também promovem alterações, numa intensidade menor, é a mineração, onde tem sido observada a minimização dos impactos ambientais devido à atuação da sociedade civil organizada. Esta atividade é encontrada na porção norte do município.

A análise multicritério demonstrou ser um instrumento eficaz na identificação de áreas aptas para ser implantado o Projeto Oásis Brumadinho. Isto porque foi capaz de conjugar a análise integrada das variáveis ambientais e sua confrontação com a realidade de campo.

4. Conclusões

A utilização da ferramenta SIG nos processos de indicação de áreas prioritárias tem se mostrado eficiente, contribuindo para o desenvolvimento de modelos como o proposto neste trabalho. A incorporação de técnicas de decisão multicritério para o aprimoramento dos resultados obtidos no SIG tem trazido inúmeros benefícios para as avaliações do planejamento das medidas a serem tomadas visando a conservação da paisagem.

O modelo proposto é aplicável em qualquer sistema ou região com a substituição dos dados correspondentes à área desejada, compondo assim um novo banco de dados. Além disso, novos critérios, pesos e parâmetros podem ser incorporados ao trabalho sem prejuízo da modelagem aqui proposta.

Com a análise dos critérios pré-estabelecidos, foi possível considerar a aptidão em razão de importância das variáveis, definindo assim, as sub-bacias a serem priorizadas na implantação do Projeto Oásis Brumadinho.

Referências Bibliográficas

ATANAZIO, R. **Geoprocessamento aplicado em projeto de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos (PSE) no município de Apucarana**, PR. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil, INPE, p.4720-4727, 2011.

BRASIL. Lei 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, parágrafo 1º, incisos I,II,III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 2000. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm>. Acesso em: 5 maio 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente. **Diário Oficial da União**, 13 de maio de 2002.

FERRARI, J. L.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F.; **Corredores ecológicos potenciais na subbacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre - ES, indicados por meio de SIG**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7, n.1, p. 133-141, 2012.

GELUDA, L.; YOUNG, C. E. F. **Pagamento por serviços ecossistêmicos previstos na Lei do SNUC – Teoria, potencialidades e relevância**. Anais do III Simpósio de Áreas Protegidas, p.572-579, 2005.

LOUZADA, F.L.R.O.; VIEIRA, M.V.M.; PELUZIO, T.M.O.; SAITO, N. M.; SOUZA, S. M.; SANTOS, A. R. 2010. **Utilização de SIG na determinação de APP em topo de morro na microrregião de planejamento do Pólo Linhares, ES. Disponível em:** <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0142_0280_01.pdf>. Acesso em 24 jul. 2012.

MARTINS, A. K. E.; NETO, A. S.; MENEZES, I. C.; BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; **Metodologia para indicação de corredores ecológicos por meio de um sistema de informações geográficas**. Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, INPE, p. 611-620, 1998.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Dados espaciais de áreas prioritárias para conservação do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica**. Disponível em: <http://blog.mma.gov.br/biodiversidade2010/2010/08/20/areas-prioritarias-para-conservacao-da-biodiversidade-brasileira/>. Acesso em: 27 de jul. 2012.

MOURA, A. C. M. 2007. **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise multicritério**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p.2899-2906.

Prefeitura Municipal de Brumadinho. **Plano Diretor de Brumadinho**. Diagnóstico do Município – Etapa Leitura da Cidade . 2011. Disponível em: <<http://www.brumadinho.mg.gov.br/diagnostico.pdf>>. Acesso em: 27 jul 2012.

SANTOS, E. P. **Simulações do potencial erosivo frente a mudanças climáticas em Mato Grosso/BR: Experimentos a partir de técnicas de geoprocessamento e mapeamentos disponíveis na Internet**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2008.

SANTOS, A. A. 2010. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no parque estadual da Serra do Rola Moça**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/AMANDA.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2012.

SAURA, S.; TORNÉ, J. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. **Environmental Modelling and Software**, v. 24, p. 135-139, 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; CARMO, V.A.; NOGUEIRA, W.J. **Metodologia de elaboração da carta do potencial erosivo da bacia do Rio das Velhas (MG)**. Geonomos, v. 6, n.2, p. 45-54, 2010

PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; **Mapeamento de áreas de preservação permanente no ArcGIS 9.3**. Alegre, CAUFES, 58 p. 2010.