

GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE AMBIENTAL: VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO NO MORRO DO OSSO, PORTO ALEGRE/RS

Gabriela Camboim ROCKETT¹

Eduardo Marques MARTINS²

Viviane TODT³

Adriane Brill THUM⁴

Eduardo Guimarães BARBOZA⁵

Resumo

Mapas sobre a vulnerabilidade natural à perda de solo são importantes produtos cartográficos de análise ambiental e servem como subsídio aos planos de gestão e ordenamento territorial. Este trabalho apresenta a análise integrada dos elementos do meio físico e do uso e ocupação do solo realizada na região do Morro do Osso e adjacências, município de Porto Alegre/RS, com o objetivo de mapear a vulnerabilidade natural à perda de solo através da aplicação de técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas e do conceito de Ecodinâmica. Os resultados obtidos mostram que na área de estudo não há predominância de processos morfogenéticos sobre os processos pedogenéticos, com 99,9% da área classificada, ao menos, segundo a classe "Medianamente Estável/Vulnerável" aos processos erosivos. A estabilidade do terreno se deve a fatores como o substrato rochoso e a ampla presença de cobertura vegetal. Dados de campo comprovam a estabilidade da área aos processos erosivos, os quais se restringem a áreas de pisoteio devido ao tráfego humano (trilhas).

Palavras-chave: Vulnerabilidade à erosão. Sistema de Informações Geográficas (SIG). Geoprocessamento.

¹ Geógrafa, MSc. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geociências e Professora Substituta do Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IGEO/UFRGS). Av. Bento Gonçalves 9500, Prédio 43125, sala 209, CEP: 91501-970, Porto Alegre/RS, Brasil. E-mail: gabriela.rockett@ufrgs.br

² Geógrafo, MSc. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGGEO/IGEO/UFRGS). E-mail: geo.edum2@gmail.com

³ MSc. e Dr. em Sensoriamento Remoto. Professora do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). E-mail: vivianetodt@unisinoss.br

⁴ Eng. Florestal, MSc. Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGSR/UFRGS) e Professora do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). E-mail: adrianebt@unisinoss.br

⁵ Geólogo, Dr. Professor Adjunto do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IGEO/UFRGS). E-mail: eduardo.barboza@ufrgs.br

Abstract

Geomathics applied to environmental analysis: natural vulnerability to soil erosion in "Morro do Osso", Porto Alegre/RS

Maps of natural vulnerability to soil erosion are important cartographic products for environmental analysis and serve as an aid to management plans and territorial planning. An integrated analysis of the elements of the physical environment and land use and occupation in the region of "Morro do Osso" and its vicinity (Porto Alegre/RS) was performed using a Geographic Information System (GIS), geomathic techniques and Ecodynamics concept, in order to develop a natural vulnerability to soil erosion mapping. The results show that there is no predominance of morphogenetic processes over the pedogenic processes in the study area, with 99,9% being classified, at least, as the thematic class "Moderately Stable/Vulnerable" to erosional processes. The stability of the terrain is due to the geologic substrate and the widely presence of vegetation cover. Field survey validates the stability of the area to erosional processes, which are restrict to human traffic areas (trails).

Key words: Erosion Vulnerability. Geographic Information System (GIS). Geomathic.

INTRODUÇÃO

O mapeamento da vulnerabilidade natural à perda do solo permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada e identificar áreas suscetíveis à erosão. No âmbito do planejamento e gestão territorial e ambiental, como uma ferramenta relevante utilizada pelos órgãos públicos. Os procedimentos operacionais para a sua elaboração consistem em empreender estudos básicos sobre o relevo, os tipos de solo, a geologia, o clima e o uso e cobertura do solo. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada para gerar um produto síntese que expressa os diferentes graus de vulnerabilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas (KAWAKUBO *et al.*, 2005).

Mapeamentos sobre a predisposição natural dos terrenos à erosão têm sido elaborados para subsidiar o planejamento ambiental e ordenamento territorial. Para citar alguns exemplos recentes, arrolam-se os seguintes trabalhos: Ribeiro; Campos (2007), para a região do Alto Rio Pardo (Município de Pardino/São Paulo); Santos; Sobreira (2008), para a bacia hidrográfica do Rio das Velhas (Minas Gerais); Freitas *et al.* (2005) para Serra das Almas (entre os Estados do Ceará e Piauí); Oliveira *et al.* (2009), para a bacia hidrográfica do Ribeirão Salobra; e Kawakubo *et al.* (2005), para a bacia hidrográfica do córrego do Onofre (Município de Atibaia/São Paulo). Em todos os estudos supracitados é utilizado um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a integração dos dados georreferenciados.

A aplicação do geoprocessamento em estudos complexos, como os sistemas ambientais, é fundamental, visto que permite a verificação da dinâmica da natureza no espaço e no tempo. Os SIGs permitem a integração e o processamento de múltiplos Planos de Informações (PIs) georreferenciados, e a avaliação e o estabelecimento de relações sistemáticas do ambiente; o que torna-o como uma relevante ferramenta de análise ambiental e apoio à tomada de decisão, daí o incremento de sua aplicação no decorrer dos anos.

Diversos estudos de análise ambiental e zoneamento de Unidades de Conservação (UC), tendo em vista o planejamento territorial, já foram realizados no Brasil com a utilização de técnicas de geoprocessamento, por exemplo: Costa; Xavier-Da-Silva (2007) e Zaidan; Xavier-Da-Silva (2007). Ressalta-se o trabalho de Hasenack, Weber & Valdameri (1998), um estudo que visou o planejamento da área do Morro do Osso a fim de identificar áreas

vulneráveis à ocupação através da integração de dados de declividade, classes de vegetação, proximidade de ruas/caminhos e proximidade de edificações.

Nesse contexto, o presente estudo visa contribuir para o planejamento ambiental e ordenamento territorial do Parque Natural do Morro do Osso (PNMO) e adjacências, localizado em Porto Alegre/Rio Grande do Sul (RS), através do mapeamento da vulnerabilidade à perda de solo mediante a aplicação de técnicas de geoprocessamento e de SIG. O produto cartográfico final é elaborado a partir da avaliação empírica e relativa dos elementos da paisagem, com relação à predominância de processos morfogenéticos e pedogenéticos. A integração dos dados é baseada no conceito de Geossistema, o qual considera que os elementos que constituem o sistema se relacionam entre si e com o ambiente.

Para tanto, foi aplicado o método desenvolvido por Crepani *et al.* (2001) a fim de obter-se os graus de vulnerabilidade e/ou estabilidade à perda de solo de cada unidade territorial em cada tema avaliado, a saber: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Climatologia e Uso e Cobertura do Solo.

GEOSSISTEMAS E ESTUDOS AMBIENTAIS

A Teoria Geossistêmica propõe que os sistemas podem ser definidos como um conjunto de elementos com variáveis e características diversas que se relacionam entre si e com o meio ambiente. Segundo Rodrigues (2001), a Teoria dos Sistemas surgiu da necessidade de integrar, na Geografia, os princípios de interdisciplinaridade, síntese com a abordagem de múltiplas escalas e com a dinâmica espacial.

Em termos conceituais, na Geografia, um espaço do território que difere de outro próximo é chamado de paisagem. Bertrand (2004, p.141) ressalta o estudo da paisagem de forma integrada:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos dispartados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004, p. 141).

Bertrand (2004) ainda afirma que a paisagem não é apenas natural, mas sim total, ou seja, com todas as implicações da ação humana. Entende-se por Paisagem Natural uma região caracterizada por uma associação de características naturais. Para o estudo da fragilidade ambiental de certa porção do território em função das suas características genéticas, é necessário conhecer sua forma, origem, constituição física e estágio de evolução, bem como o tipo de cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve (Crepani *et al.*, 2001). Neste contexto, o conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) faz uma abordagem da paisagem de uma forma sistêmica, onde as paisagens devem ser caracterizadas quanto a sua morfodinâmica, na qual se considera os processos morfogenéticos e pedogenéticos. Ainda segundo Tricart (1977), a seguinte divisão das categorias morfodinâmicas é elaborada:

Meios estáveis:

- Cobertura vegetal densa;
- Dissecação moderada;
- Ausência de manifestações vulcânicas.

Meios intermediários:

- Balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas. Meios fortemente instáveis:
- Condições bioclimáticas agressivas, com ocorrência de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas;
- Relevo com vigorosa dissecação;
- Presença de solos rasos;
- Inexistência de cobertura vegetal densa;
- Planícies e fundos de vale sujeitos a inundações;
- Geodinâmica interna intensa.

De acordo com a concepção ecológica, o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria dos Sistemas, que parte do pressuposto de que, na natureza, as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico (ROSS, 1994). Porém, é importante ressaltar que as intervenções humanas no ambiente causam desequilíbrios nos sistemas naturais, tanto temporários quanto permanentes. Neste sentido, os geossistemas, apesar de serem considerados "fenômenos naturais", devem ser estudados à luz dos fatores econômicos e sociais que influenciam sua estrutura (SOTCHAVA, 1977 *apud* RODRIGUES, 2001).

A abordagem geossistêmica do ambiente, segundo Rodrigues (2001), subsidia uma série de avaliações ambientais no Brasil, visto que possibilita a "identificação de unidades territoriais com dinâmicas semelhantes passíveis de classificações diversas em processos de planejamento territorial e de utilização em instrumentos de gestão ambiental" (RODRIGUES, 2001, p.75).

A partir destes conceitos e parâmetros, Crepani *et al.* (2001) desenvolveram um método para avaliação da vulnerabilidade natural à erosão de acordo com a relação entre morfogênese e pedogênese.

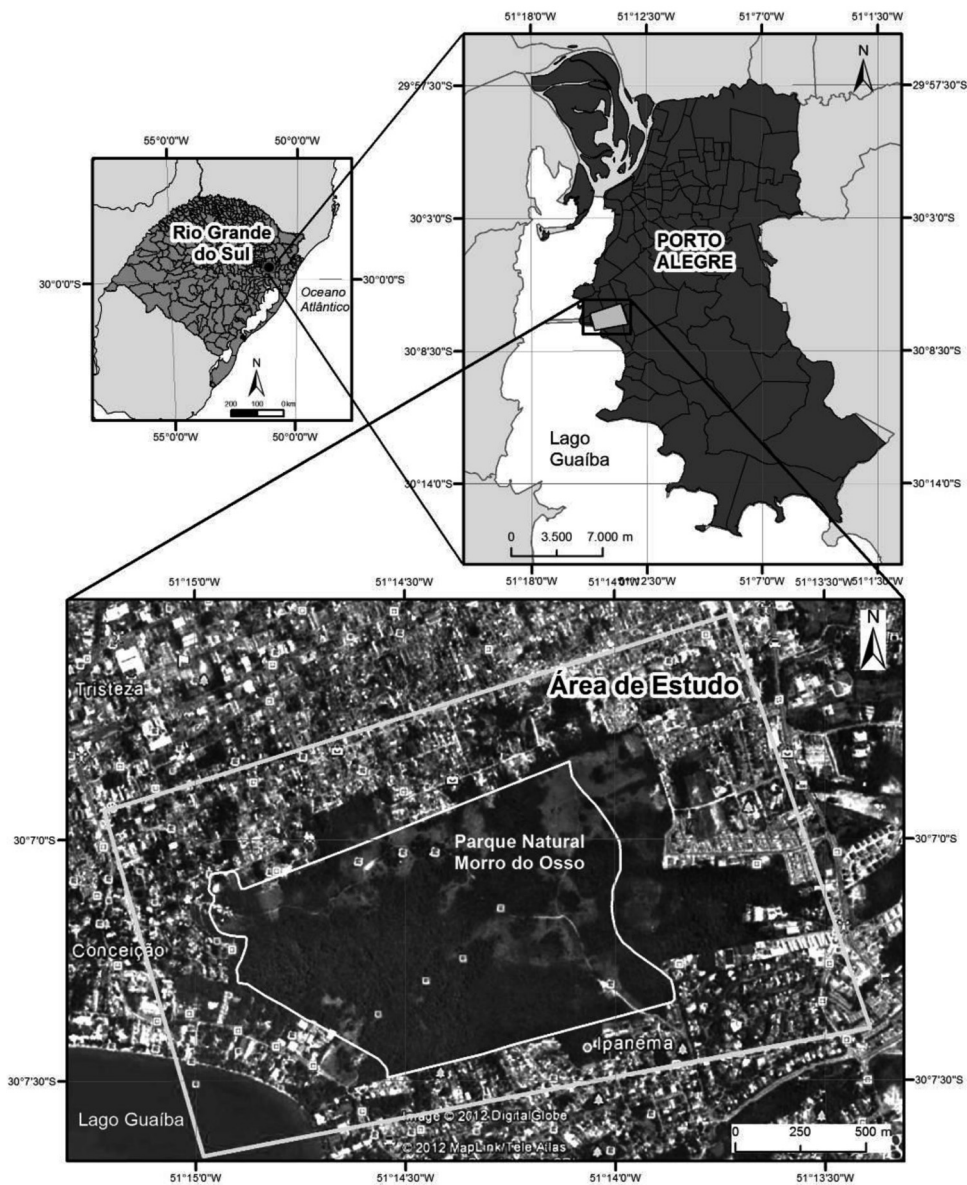
MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo está composto por três sub-capítulos, denominados: Delimitação da área de estudo; Elaboração do banco de dados georreferenciados; Processamento dos dados para determinação da vulnerabilidade natural à perda de solo.

Delimitação da Área de Estudo

O município de Porto Alegre/RS possui mais de 40 morros, que se constituem como as maiores altitudes do município. Segundo Rambo (1954), apresentam formas arredondadas, com a presença de matacões aflorantes; ademais, são as projeções mais setentrionais do Escudo Sul-Riograndense. A área de estudo compreende o Morro do Osso e adjacências (Figura 1), entre as latitudes $-30^{\circ}06'$ e $-30^{\circ}07'$ e longitudes $-51^{\circ}13'$ e $-51^{\circ}15'$, perfazendo uma área de aproximadamente 4 km². Localizado no quadrante sudoeste do município, na margem esquerda do lago Guaíba. É uma das maiores áreas verdes contínuas no interior da área urbana de Porto Alegre, constituindo um fragmento do patrimônio natural.

Figura 1 – Localização da área de estudo: Morro do Osso e adjacências, Porto Alegre/RS



Fonte: Adaptado de Hasenack; Weber; Lucatelli (2010); SMAM (2006); GOOGLE EARTH (2011).

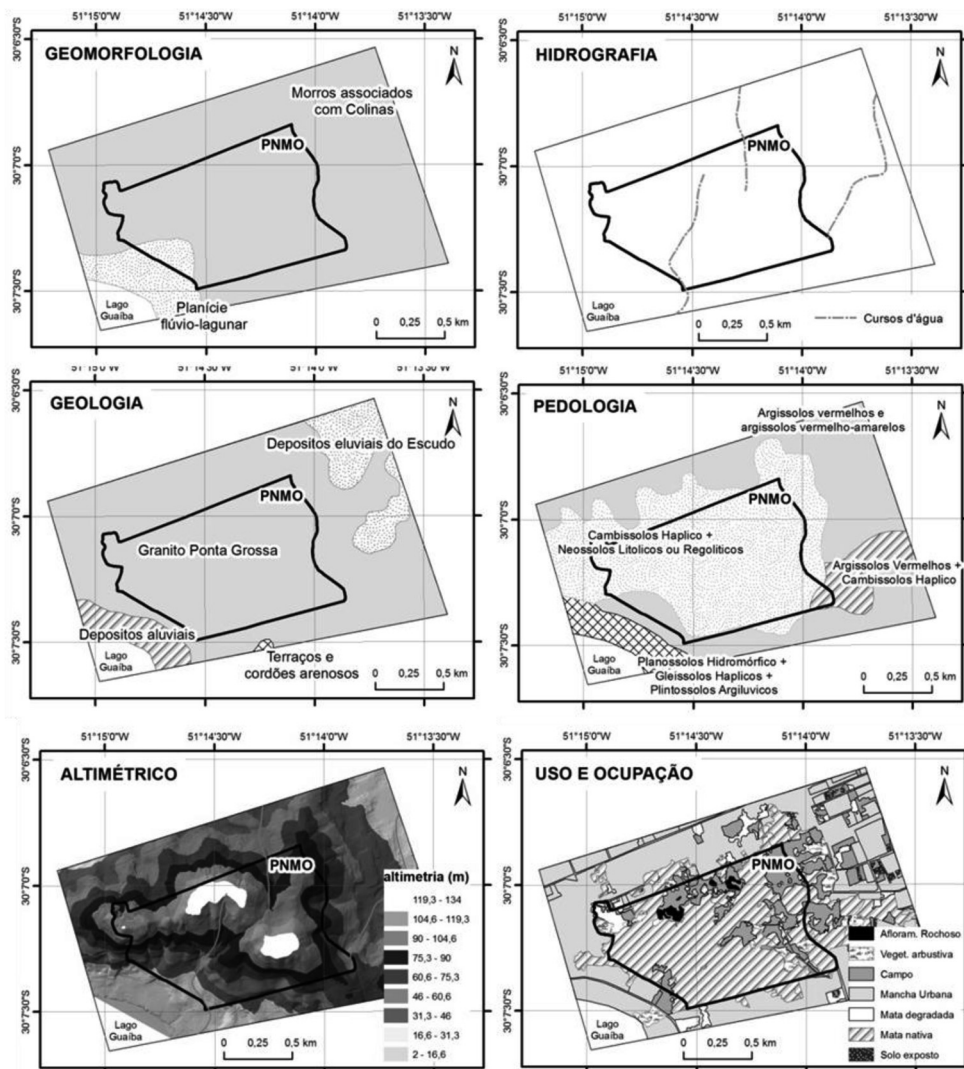
O Morro do Osso está inserido em um contexto geológico onde o embasamento é constituído por granitos e gnaisses, segundo Menegat (1998); apresenta altitude máxima de 143 metros e possui, aproximadamente, 200 hectares de área, onde 127 hectares pertencem à Unidade de Conservação de Proteção Integral (de uso indireto) Parque Natural Morro do Osso, criada pela Lei Complementar nº 334, de 27 de dezembro de 1994 (PORTO ALEGRE, 1994; SMAM, 2006). No ano de 2006, foi publicado o Plano de Manejo Participativo do Parque, o qual mostra o zoneamento da área do parque, delimitada a partir da utilização do uso e cobertura do solo atual como matriz. A crescente urbanização do município e a retirada de vegetação nas adjacências do Morro do Osso para construção de áreas residenciais, principalmente a partir da década de 90, constitui-se como um problema para a conservação da biodiversidade (SMAM, 2006). A importância da preservação do PNMO é ímpar, devido ao fato deste possuir um remanescente de floresta higrófila, com espécies ameaçadas da Floresta Atlântica (Floresta Ombrófila Densa) (SMAM, 2006).

Elaboração da Base de Dados Georreferenciados

O banco de dados georreferenciados (BDG) foi construído no *software* de SIG ArcGIS® 10.1. Foi adotada a projeção Transversa Universal de Mercator (UTM), o *datum* WGS-84, fuso 22 sul. Os PIs utilizados foram os seguintes: geomorfologia, hidrografia, altimetria, declividade, geologia, pedologia, uso e cobertura do solo e clima (Figura 2). A descrição breve das características da área, para cada tema, compreende:

- **Geomorfologia:** As duas unidades morfoestruturais identificadas foram Escudo Uru-guaio Sulriograndense (EUSRS) na maior porção da área de estudo (planalto) e Bacia Sedimentar de Pelotas (planície/terras baixas) na porção sudoeste da área.
- **Hidrografia:** a área de estudo é desprovida de grande quantidade de cursos d'água de grande porte, havendo apenas três cursos fluviais de primeira ordem.
- **Pedologia:** Os solos ocorrentes são: Associação de Argissolos Vermelhos com Cambissolos Haplico (PV2); Associação de Cambissolos Haplicos com Neossolos Litólicos (CX); Associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Haplicos e Plintossolos Argiluvicos (SG1); e um grupo indiferenciado de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos (PV1).
- **Geologia:** a área de estudo consiste em um Morro granítico (Granito Ponta Grossa), com ocorrência de depósitos eluviais do EUSRS na porção nordeste da área delimitada. Na porção sudoeste, em menores altitudes, nas proximidades das margens do Lago Guaíba, depósitos aluviais compõem o cenário geológico.
- **Uso e ocupação do solo:** Foram identificados diversos usos do solo na área de estudo, os quais foram agrupados em 10 classes temáticas: mancha urbana, mata nativa, mata degradada, vegetação arbustiva, campo nativo, campo manejado, cultivo permanente, cultivo temporário, afloramento rochoso e solo exposto.
- **Altimetria:** a base cartográfica utilizada, curvas de nível equidistantes em um metro na escala 1:1.000 (HASENACK; WEBER; LUCATELLI, 2010), possibilitou uma análise detalhada do relevo, o qual possui grande variação altimétrica, de mais de 100 metros.
- **Declividade:** A partir das curvas de nível foi gerado o modelo numérico do terreno da área de estudo e, posteriormente, a declividade foi obtida através da aplicação da ferramenta *Slope*. A declividade (em percentual de inclinação) foi reclassificada em 21 classes, conforme Crepani *et al.* (2001).
- **Climatologia:** A partir do gráfico das normais climatológicas (precipitação) de Porto Alegre entre 1961 e 1990 (INMET, 2011), obteve-se uma média de precipitação de 121 mm. Os dados de precipitação foram espacializados a partir de uma grade numérica regular gerada no *software*.

Figura 2 – Planos de Informação utilizados no cálculo da vulnerabilidade natural à perda de solo: Geomorfologia, Hidrografia, Geologia, Pedologia, Altimetria, Uso e Ocupação. Além destes, a informação sobre o Clima da região foi utilizada e um mapa de declividades foi gerado a partir dos dados altimétricos



Como estas informações ambientais da área são fundamentais para o cálculo da vulnerabilidade natural à perda de solo, foram utilizados dados com a maior escala disponível. Na tabela 1 constam as fontes e as escalas dos dados utilizados neste estudo.

Tabela 1 – Planos de Informações utilizados neste estudo

Plano de Informação (PI)	Tipo	Escala	Fonte do dado
- Hidrografia	Vetor	1:25.000	
- Pedologia	Vetor	1:40.000	
- Geologia	Vetor		<i>Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre. (SMAM, 2008)</i>
- Vegetação e Ocupação/ uso e cobertura do solo	Vetor	1:15.000	
- Limites Município	Vetor	1:15.000	
- Geomorfologia	Vetor	1:40.000	Mapa Geomorfológico de Porto Alegre (DIAS; FUJIMOTO; SOARES, 2009)
- Curvas de Nível	Vetor	1:1.000	Curvas de nível da <i>Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre/RS na escala 1:1.000</i> (HASENACK; WEBER; LUCATELLI, 2010)
- Declividade	Matriz		Informação gerada a partir de curvas de nível da <i>Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre/RS na escala 1:1.000</i> (HASENACK, WEBER; LUCATELLI, 2010)
- Climatologia	Matriz		Elaborado a partir da média aritmética de dados de pluviometria da região, entre os anos de 1961-1990, obtidos no INMET [2011].

Como as escalas são distintas, optou-se por cobrir uma área maior do que o Parque propriamente dito, para que no processo denominado “álgebra de mapas” não houvessem inconsistências. A resolução espacial utilizada para geração dos arquivos do tipo *raster* (ou matricial) foi de 5 metros, devido à menor escala disponível nos dados utilizados e à otimização do custo computacional.

Processamento dos Dados para Determinação da Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo

O mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo foi gerado a partir do método desenvolvido por Crepani *et al.* (2001) adaptado por Freitas *et al.* (2005), o qual consiste na sobreposição dos PIs e aplicação do método “álgebra de mapas” em ambiente SIG, descrito a seguir.

A avaliação do estágio de evolução morfodinâmica das unidades territoriais básicas é feita de forma relativa e empírica. Para todos os temas analisados (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Climatologia e Uso e ocupação do solo), os autores elaboraram uma tabela que apresenta um intervalo de valores de estabilidade/vulnerabilidade distribuídos entre as situações de predomínio dos processos pedogenéticos (valores próximos de 1), passando por

situações intermediárias (valores ao redor de 2) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (valores próximos de 3); estes valores foram estabelecidos a partir de estudos detalhados sobre cada tema (Tabela 2).

Tabela 2 – Características Avaliadas para Medir a Estabilidade/Instabilidade das Unidades Territoriais Básicas

Temas	Características
Geologia (GEO)	- História da Evolução Geológica - Tipo de Rocha e Grau de Coesão (rochas pouco coesas facilitam processos modificadores das formas de relevo. Já as rochas bastante coesas facilitam processos de formação de solos).
Geomorfologia (GEOM)	- Amplitude altimétrica - Grau de dissecação - Declividade
Pedologia (PED)	- Maturidade dos Solos
Fitogeografia (F)	- Densidade da Cobertura Vegetal
Clima (C)	- Intensidade Pluviométrica (Pluviosidade anual/ Duração do Período Chuvoso)

FONTE: Adaptada de CREPANI et al. (1996).

O processamento dos dados para a geração do mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo se fundamenta em três operações: (1) ponderação para geração de grade com os valores de vulnerabilidade para tema; (2) média aritmética, a fim de gerar outra grade que contenha valores médios de vulnerabilidade final; e (3) fatiamento.

A primeira etapa consiste na valoração das características da área de estudo, conforme a propensão aos processos de morfogênese (processo de modelagem do relevo em sistemas naturais, onde processos erosivos e deposicionais ocorrem) e de pedogênese (processo de formação de solos), que definem o grau de vulnerabilidade de cada unidade de paisagem. Cada unidade territorial dos diferentes temas foi classificada utilizando-se uma escala de 21 graus de vulnerabilidade desenvolvida por Crepani *et al.* (2001) (Figura 3). De acordo com Crepani *et al.* (2001), os graus de vulnerabilidade do tema Geologia estão relacionadas à denudação das rochas; para o tema Pedologia, à erosão dos solos; e, para o tema Climatologia, aos valores de intensidade pluviométrica (baseados na escala de erosividade da chuva). Para estabelecer os graus de vulnerabilidade com relação ao tema Geomorfologia, fez-se uma análise dos seguintes parâmetros morfométricos: dissecação do relevo pela drenagem e amplitude altimétrica. A dissecação do relevo refere-se à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha, já a amplitude altimétrica está vinculada ao aprofundamento da dissecação, que por sua vez está relacionado à energia potencial disponível para o "runoff" (escoamento superficial). Os graus atribuídos ao tema Geomorfologia são o resultado da média aritmética dos graus atribuídos aos parâmetros geomorfológicos analisados.

Para o tema Uso e cobertura do solo, foram adotados os graus de vulnerabilidade de Crepani *et al.* (2001); e, para as classes não abrangidas pelo referido autor, os valores foram estimados baseados na proximidade entre classes. Na Tabela 3 constam os graus adotados para cada classe identificada na área de estudo desta pesquisa.

Após a ponderação, fez-se o processamento de todos os PIs para a obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solo, através de operações algébricas em ambiente SIG

(Equação 1). O valor final para cada unidade territorial é dado pela média entre o valor estabelecido para a mesma porção do espaço para cada tema.

$$FA = (GEO+GEOM+PED+CLI+USO+DEC) / 6 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

FA é a Vulnerabilidade natural à perda de solo; GEO, vulnerabilidade para o tema Geologia; GEOM, vulnerabilidade para o tema Geomorfologia; PED, vulnerabilidade para o tema Pedologia; CLI, vulnerabilidade para o tema Climatologia; USO, vulnerabilidade para o tema Uso do Solo; e, DEC, vulnerabilidade para o tema declividade.

A síntese da metodologia utilizada é ilustrada pelo fluxograma apresentado na figura 3. Na figura 4, constam as classes de vulnerabilidade utilizadas no mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo do Morro do Osso.

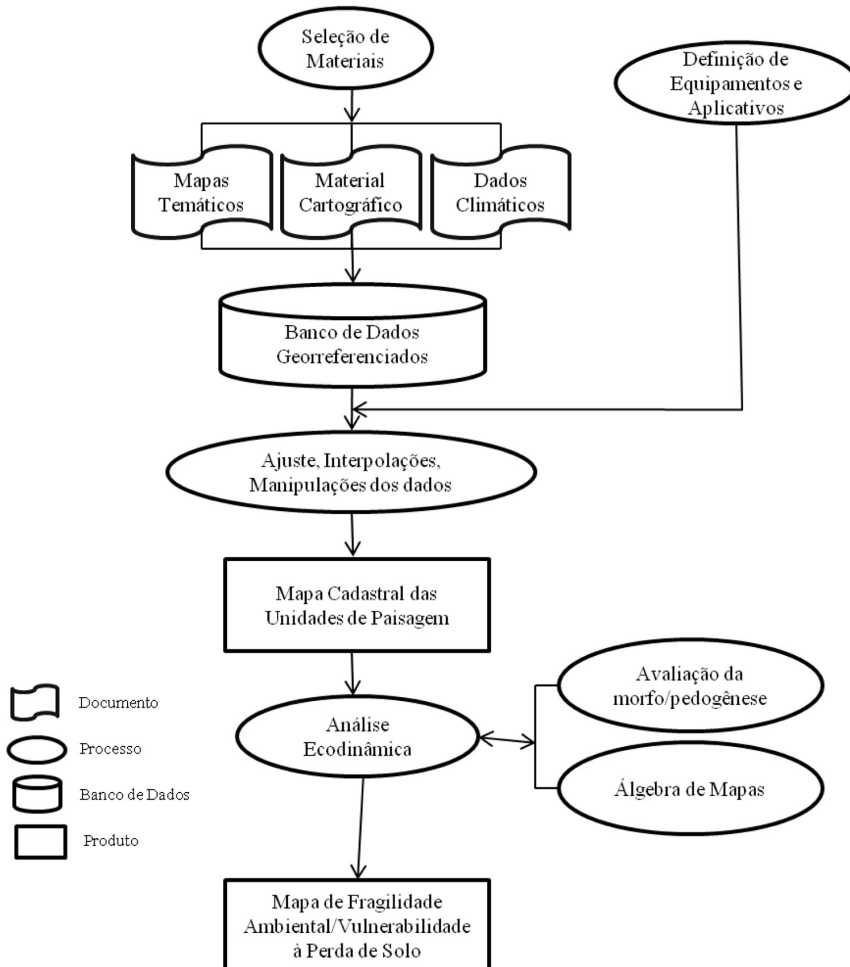


Figura 3 – Fluxograma da metodologia utilizada

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
			VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8		255	102	0	
U4	2,7		255	153	0	
U5	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	2,5		255	255	0	
U7	2,4	MODERADAM. VULNERÁVEL	204	255	0	
U8	2,3		153	255	0	
U9	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	2,1		51	255	0	
U11	2,0		0	255	0	
U12	1,9	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	51	
U13	1,8		0	255	102	
U14	1,7	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	153	
U15	1,6		0	255	204	
U16	1,5		0	255	255	
U17	1,4	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	1,3		0	153	255	
U19	1,2		0	102	255	
U20	1,1		0	51	255	
U21	1,0		0	0	255	

Figura 4 - Classes de Vulnerabilidade (CREPANI *et al.*2001)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o tema Geologia, dois graus distintos de vulnerabilidade foram encontrados na área de estudo: Estável para o a formação granítica, compreendendo a maior parte da área de estudo (incluindo o PNMO) e Vulnerável para os terrenos inconsolidados, adjacentes ao lago Guaíba e na área urbana à nordeste da área de estudo. As rochas granitoides possuem características que as colocam como estáveis devido à alta resistência à intemperização, característica contrária aos terrenos inconsolidados, mais susceptíveis ao intemperismo e à erosão.

Para o tema Pedologia, a área de estudo apresentou solos classificados como Vulneráveis, devido à presença de cambissolos associados a neossolos (que predominam no topo e encosta do Morro do Osso, em relevo fortemente ondulado) e à associação de planossolos hidromórficos, gleissolos háplicos e plintossolos argilúvicos, os quais predominam na porção das planícies aluviais com microrelevo. Estes solos, com alto grau de vulnerabilidade, são "jovens" e pouco desenvolvidos, com pequena evolução dos perfis de solo. Também foram observados solos com graus de vulnerabilidade Intermediária (medianamente estáveis/vulneráveis) na porção oeste da área de estudo, correspondentes a argissolos.

Para o tema Geomorfologia, foram observados graus de vulnerabilidade classificados como Medianamente Estável/Vulnerável (2,2) a Moderadamente vulneráveis (2,5). Estes valores estão associados aos altos índices encontrados para a variável dissecação do relevo, o que indica um relevo vulnerável aos processos de perda do solo. Para amplitude altimétrica, foram observados valores intermediários e considerados estáveis. Com relação à Declividade, 95% da área encontra-se na faixa de vulnerabilidade entre Estável e Medianamente Estável/Vulnerável, sendo apenas 5% da área classificada como Vulnerável ou Moderadamente Vulnerável. As maiores declividades encontram-se na encosta leste do morro.

Para o tema Climatologia, a grade gerada apresentou valor uniforme em toda a região. Devido à baixa intensidade pluviométrica, e a distribuição da chuva durante todos os meses do ano (no período entre 1961-1990), a região foi classificada como Estável.

Para o tema Uso e cobertura do solo, a região central da área de estudo (compreendendo o PNMO) apresentou a maior área classificada como Estável, ocorrendo também regiões classificadas como Medianamente Estável/Vulnerável, principalmente próximas a áreas urbanizadas. Áreas Vulneráveis ocorrem no entorno do morro, nas áreas urbanizadas e com solo exposto.

No que diz respeito ao emprego das técnicas de geoprocessamento e SIG, permitiram identificar as regiões mais suscetíveis à morfogênese. A partir dos pesos definidos para os temas avaliados e das operações algébricas entre os PIs foi possível mapear as áreas naturalmente vulneráveis à perda de solo no Morro do Osso e de seu entorno (Figura 5⁶), o qual mostra que 1,6 km² são classificados como Medianamente estável/vulnerável, 2,4 km² classificados como Moderadamente estável (localizados, principalmente, no PNMO) e uma pequeníssima área classificada como Moderadamente vulnerável.

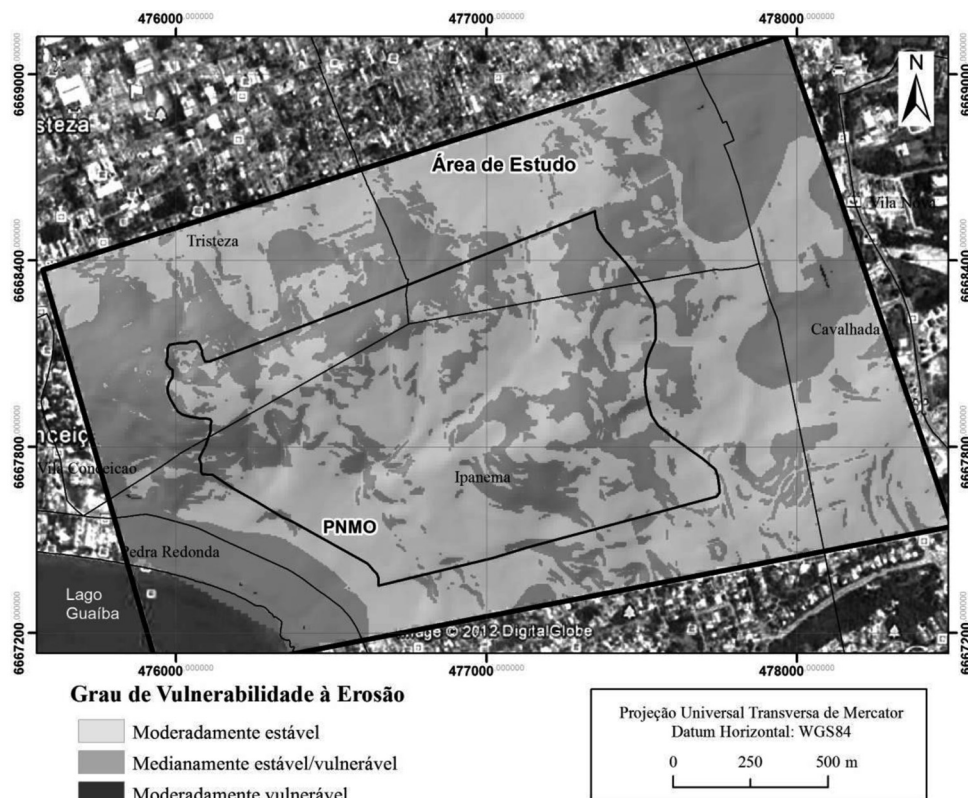


Figura 5 – Mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo do Morro do Osso e adjacências, Porto Alegre/RS

⁶ O Padrão de cores foi adaptado para que o resultado (Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo do Morro do Osso e adjacências, Porto Alegre/RS) fique mais visível em tons de cinza.

A análise individual dos temas faz-nos concluir que os principais fatores que influenciam as condições para a ocorrência de áreas Moderadamente Estáveis na área de estudo foram a baixa declividade, a estrutura geológica resistente e a preservação da cobertura vegetal. Cabe tecer uma consideração sobre as áreas urbanizadas: estas encontram-se impermeabilizadas, ou seja a perda de solo não é acentuada, porém, como não há controle sobre a configuração de jardins (privados), áreas verdes (públicas) e áreas ocupadas de maneira irregular, adotou-se um índice médio (2,0).

Mediante avaliação em campo, implementada para avaliar a precisão do mapeamento gerado, pôde-se constatar e corroborar os resultados obtidos pela aplicação do método adotado: a área é considerada estável aos processos erosivos. Os pontos observados com a ocorrência de processos de perda de solo estão vinculados às trilhas de circulação de pessoas (Figura 6A), com larguras que variam de 30 centímetros à 1 metro. A administração do Parque aplica técnicas de manejo para evitar a perda de solo, como a colocação de troncos de árvores distanciadas regularmente e perpendiculares ao fluxo (Figura 6B a 6D).



Figura 6 – Focos de processos erosivos em quatro pontos diferentes no Morro do Osso, normalmente associados à circulação de pedestres. As fotos B a D mostram o manejo para contenção da erosão (colocação de troncos perpendiculares à trilha)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento gerado foi elaborado através da integração de elementos do meio físico (Geomorfologia, Declividade, Geologia, Pedologia e Clima) e do uso e ocupação do solo através de técnicas de geoprocessamento, e teve por objetivo subsidiar o planejamento ambiental e ordenamento territorial do Morro do Osso e adjacências, principalmente no que diz respeito à identificação de áreas mais vulneráveis que necessitam de proteção/recuperação para salvaguardar o Parque Natural do Morro do Osso e os seus limites. A metodologia para a obtenção do Mapa de Vulnerabilidade à Perda do Solo baseou-se no conceito de Ecodinâmica e o método utilizado tem por base a atribuição de graus de vulnerabilidade às diferentes unidades de paisagem de cada tema analisado, variando de 1,0 (estável) à 3,0 (vulnerável).

O produto cartográfico final evidencia que 99,9% da área de estudo foi classificada, ao menos, em um estágio intermediário de vulnerabilidade (Medianamente Estável/Vulnerável), ficando constatada a estabilidade da área em que se situa o Parque. A utilização de bases cartográficas nas escalas 1:1.000 e 1:40.000 confere a este Mapa precisão no que diz respeito à qualidade do produto final. Os dados modelados através de geoprocessamento foram corroborados em trabalho de campo na área, onde verificou-se a estabilidade do terreno aos processos erosivos, os quais estão limitados às áreas de circulação de pessoas.

Por outro lado, foi possível observar a relevância do fator preservação da cobertura vegetal no interior do Parque (critério de dissecação alto na geomorfologia e expansão de assentamentos informais) e nas imediações do mesmo como forma de: (i) evitar-se a degradação de "fora para dentro"; (ii) solidificar os limites do PNMO; e (iii) evitar a expansão da mancha urbana sem planejamento.

Ademais, como o produto final deste trabalho, que contém informações sobre as áreas mais ou menos vulneráveis à perda de solos, será entregue à administração do Parque, servirá de subsídio às futuras ações de adequação do Plano de Manejo do PNMO. Sugere-se que este estudo seja realizado em outras unidades de conservação, a fim de que o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo possa auxiliar no planejamento, na gestão e no ordenamento dos mesmos, no que se refere às áreas prioritárias para conservação e preservação, bem como indique áreas propícias para a implementação de trilhas (de trânsito e/ou ecológicas), por exemplo.

A principal limitação do método utilizado está atrelada à disponibilidade e à escala dos PIs, pois podem gerar generalizações cartográficas e, conseqüentemente, a perda de informações.

REFERÊNCIAS

- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: Esboço metodológico. **Revista RA' E GA**, n. 8, p. 141-152, 2004.
- COSTA, N.C.C.; XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento aplicado à criação de planos de manejo: o caso do Parque Estadual da Pedra Branca – RJ. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R.T. (Org.). **Geoprocessamento e Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2ª ed., 2007. p.68-114.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANDO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. INPE-8454-RPQ/722. 103p.

DIAS, T.S.; FUJIMOTO, N.S.V.M.; SOARES, A.Q. Compartimentos de Relevo do Município de Porto Alegre-RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009. Viçosa – MG. **Anais...** Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

FREITAS, M.W.D.; CARVALHO, V.C.; CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; ESPIG, S.A. 2005. Aplicações de geoprocessamento no estudo dos geossistemas e Zoneamento Ecológico-Econômico de Serra das Almas (CE/PI). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 16-21 abril 2005, Goiânia. **Anais...** p. 2153-2160.

HASENACK, H.; WEBER, E.J.; LUCATELLI, L.M.L. **Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia, 2010. ISBN 978-85-63843-03-6. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

HASENACK, H.; WEBER, E.J.; VALDAMERI, R. Análise de vulnerabilidade de um parque urbano através de módulos de apoio à decisão em sistemas de informação geográfica. In: GIS BRASIL 98 – IV CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 4, 1998. **Anais...** Curitiba/PR, 1998.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Clima/Climatologia/Gráficos Climatológicos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso: Nov. 2011.

KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G.; CAMPOS, K.C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J.L.S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, p.2203-2210.

MENEGAT, R. (Coord). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2.ed.,1998. 228p.

OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural à erosão. **Geociências**, v.28, n.4, 2009. p. 417-424.

PORTO ALEGRE-RS. Lei Complementar 334, de 27 de dezembro de 1994. Altera limites de Unidades Territoriais Funcionais cria Área Funcional de Parque Natural, na forma da Lei Complementar nº 43, de 21 de julho de 1979, e dá outras providências. Obs.: Limites modificados pela Lei Complementar 434 de 1 de dezembro de 1999. **Diário Oficial de Porto Alegre**, Porto Alegre, 29 de dezembro. 1994. p.70-71.

RAMBO, B. Análise histórica da flora de Porto Alegre. **Sellowia**, Itajaí, v.6, p.9-112, 1954.

RIBEIRO, F.L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental**, v.11, n.6, p.628-636, 2007.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, n.14, p. 69-77, 2001.

ROSS, J.L.S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, 8, p. 63-74, 1994.

SANTOS, C.A.; SOBREIRA, F.G. Análise da fragilidade e vulnerabilidade natural Dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p.65-73, 2008.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE-SMAM (Porto Alegre). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre**. Heinrich Hasenack (coord.), Porto Alegre, 2008. 88p.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE-SMAM (Porto Alegre). **Plano de Manejo Participativo do Parque Natural Morro do Osso**. Maria Carmen Sestren-Bastos (Coord.), Porto Alegre, 2006. 149p.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977. 91p.

ZAIDAN, R.T.; XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento de áreas com necessidade de proteção: o caso do Parque Estadual do Ibitipoca – MG. In: XAVIER DA SILVA, J.; Z Aidan, R.T. (Org.). **Geoprocessamento e Análise Ambiental**, 2ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p.31-65.

Recebido em maio de 2013

Revisado em outubro de 2013

Aceito em abril de 2014

