

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS – UNIFAL-MG

**ANDRÉ DOS SANTOS RIBEIRO**

VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
MANDU, SUL DE MINAS GERAIS

**ALFENAS/MG**

**2014**

**ANDRÉ DOS SANTOS RIBEIRO**

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
MANDU, SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato (UNIFAL-MG)

Coorientador: Prof. Dr. Nilton Curi (UFLA)

**ALFENAS/MG**

**2014**

Ribeiro, André dos Santos.

Vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, sul de Minas Gerais / André dos Santos Ribeiro. – Alfenas, 2014. 63 f. -

Orientador: Ronaldo Luiz Mincato  
Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental) -  
Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2014.  
Bibliografia.

1. Erosão hídrica. 2. Avaliação de impacto ambiental. 3. Uso – solo. 4. Bacia hidrográfica. I. Mincato, Ronaldo Luiz. II. Título.

CDD: 551.4



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG  
Programa de Pós-graduação – Ecologia e Tecnologia Ambiental

Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700. Alfenas - MG CEP 37130-000  
Fone: (35) 3299-1419 (Coordenação) / (35) 3299-1392 (Secretaria)  
www.unifal-mg.edu.br/ppgecoambiental/



ANDRÉ DOS SANTOS RIBEIRO

“VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
MANDU, SUL DE MINAS GERAIS.”

A Banca examinadora, abaixo assinada, aprova a  
Dissertação apresentada como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de Mestre em  
Ecologia e Tecnologia Ambiental pela  
Universidade Federal de Alfenas. Área de  
Pesquisa: Tecnologia Ambiental.

Aprovado em: 27 / 03 / 2014

Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato

Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: 

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

Instituição: UFLA

Assinatura: 

Prof. Dr. Fernando Shinji Kawakubo

Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: 

Dedico aos meus pais,  
Gessi dos Santos da Costa  
e Arnaldo Domingos  
Ribeiro.

## **Agradecimentos**

À UNIFAL-MG, pela oportunidade e pela bolsa de estudo.

Ao Departamento de Ciência do Solo da UFLA, pela receptividade e apoio.

À minha mãe, Gessi dos Santos da Costa, e ao meu pai, Arnaldo Domingos Ribeiro, pelo apoio e dedicação irrestritos.

Às minhas avós Maria da Conceição Ribeiro, Homerina Tereza da Costa (*in memorian*), ao meu avô José Domingos Filho (*in memorian*), ao meu irmão Douglas dos Santos Ribeiro, aos meus primos Edvaldo Ferreira e Rodrigo Aparecido Ferreira e aos demais, aos meus tios e amigos que sempre acreditaram em mim.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato, orientador e amigo, pela ajuda, dedicação e confiança.

Ao Prof. Dr. Nilton Curi, coorientador, pela receptividade, ajuda e confiança.

Aos que me auxiliaram nesta caminhada: Prof. Dr. Fernando Shinji Kawakubo, Walbert Júnior Reis dos Santos, Joaquim Ernesto Bernardes Ayer, Diogo Olivetti, Cassiano Messias, Danilo F. Trovó Garófallo, Laura Milani da Silva Dias e Carla Mourão.

Aos funcionários do Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas, Marcilene Teodoro de Souza, Cleide Lana Vitor, Paulo Thiago Fernandes Amaral e Janice Rosa Camilo.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.

“Que coisa espantosa é um livro. É um objeto achatado, feito de uma árvore, com partes flexíveis em que são impressos montes de rabiscos escuros engraçados. Mas basta um olhar para ele e você está dentro da mente de outra pessoa. Talvez alguém morto a milhares de anos. Através dos milênios, um autor está falando claramente e em silêncio dentro de sua cabeça, diretamente pra você. A escrita é talvez a maior das invenções humanas, unindo pessoas que nunca se conheceram, cidadãos de épocas distantes. Livros rompem as amarras do tempo. Um livro é a prova de que os seres humanos são capazes de fazer magia”.

Carl Sagan (Cosmos)

## RESUMO

A erosão hídrica é uma das maiores causas de depauperamento dos solos no Brasil e no mundo. Neste cenário, o objetivo deste trabalho foi aplicar a Análise Empírica da Fragilidade Ambiental, para classificar a vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, no sul de Minas Gerais. Isto, considerando os componentes ambientais: usos do solo, relevo, solos e clima, em ordem decrescente de importância, estabelecida pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP), que interferiu no resultado final e é recomendado na aplicação deste método. Desta forma, ficou estabelecido que na maior parte da sub-bacia os usos do solo estão inadequados. Nesta, 33,67% da área deveriam ser de preservação permanente e os locais utilizáveis, precisariam ser manejados adequadamente, principalmente as pastagens. Assim 52,91% teria baixa vulnerabilidade. Também, a eliminação dos solos expostos e o rearranjo dos locais com agricultura temporária contribuiriam muito com a atenuação dos impactos ambientais e acabariam com as áreas de vulnerabilidade ambiental muito forte e forte.

Palavras chave: Erosão Hídrica. Fragilidade Ambiental. Uso do Solo. Rio Grande.



## **ABSTRACT**

Water erosion is one the greatest cause of depletion of soils in Brazil and worldwide. Therefore, the aim of this work was to apply the Empirical Analysis of Environmental Fragility, to classify environmental vulnerability to erosion of the Mandu river watershed, southern Minas Gerais State. This, considering the environmental components: land use, relief, soils and climate, in descending order of priority established by Analytical Hierarchy Process (AHP), which interfered with the final outcome and is recommended when applying this method. In this way, it was established that most of the watershed land uses are inadequate. In this, 33,67% of the area should be permanent preservation and the usable sites, need to be properly managed, mainly pastures. So 52,91% would have low vulnerability. Also, the exposed soil elimination and the rearrangements in locals with temporary agriculture contribute much with attenuation of environmental impacts and phase out areas with very strong and strong vulnerability.

**Key Words:** Water Erosion. Environmental Fragility. Land Use. Grand River.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>11</b>
1.1 Vulnerabilidade Ambiental .....	12
1.2 Sistemas de Informação Geográfica e o Processo Analítico Hierárquico.....	15
1.3 Bacias Hidrográficas .....	16
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO II - ARTIGO: VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANDU, SUL DE MINAS GERAIS..</b>	<b>24</b>
INTRODUÇÃO.....	25
MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
CONCLUSÕES .....	36
REFERÊNCIAS .....	37
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>41</b>
ANEXO I: Procedimentos Operacionais do AHP.....	42
ANEXO II: GEOTECNOGÊNESE E O GEOSSISTEMA: DIAGNÓSTICO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM POUSO ALEGRE – MG .....	45

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

O solo e a água são elementos fundamentais na sustentação dos sistemas agrícolas e naturais (ANDRADE; FREITAS; LANDERS, 2010), que são os fornecedores de recursos ecológicos necessários ao metabolismo dos organismos e, portanto, à vida animal e do homem (TRICARD, 1977).

O solo é uma coleção de corpos naturais na superfície da terra. É a camada da crosta terrestre em que se sustentam e se nutrem as plantas. Essa tênue camada superficial é composta por partículas de rochas em diferentes estágios de desagregação, água e substâncias químicas em dissolução no ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Esta camada está entre os maiores provedores de serviços ambientais na terra, pois os solos reciclam nutrientes e resíduos, integram o sistema de suprimento e purificação de águas, são habitat para vasta diversidade biológica, regulam a estocagem e liberação de gases, incluindo o oxigênio e gases estufa, são substrato e matéria prima para obras de engenharia e são substrato para plantas e seu crescimento (NEEDELMAN, 2013).

Estes corpos naturais são recursos não renováveis na escala de tempo humana e o manejo inadequado pode causar a intensificação dos processos erosivos com perdas de nutrientes, água e carbono, dentre outros componentes (LAL, 2004). Além de depauperar o solo, a intensificação da erosão agrava a poluição das águas (BRADY; WEIL, 2013). Reverter o quadro de degradação de áreas extensas, otimizar o uso dos solos com potencial para produção agrícola e o uso da água, contribuir para mitigação de impactos ambientais e desenvolver novos insumos e sistemas de produção, capazes de promover a sustentabilidade ambiental, social e econômica pelas gerações presentes e futuras são alguns dos desafios para o manejo e a conservação do solo e da água para os diversos ambientes (ANDRADE; FREITAS; LANDERS, 2010).

Em geral, os processos erosivos naturais são compensados pela formação de solos, ou manto de intemperismo, porém a atuação antrópica altera este estado de equilíbrio e intensifica a erosão, principalmente pelo manejo inadequado, e isto compromete a qualidade ambiental (BRADY; WEIL, 2013). Atualmente, a erosão hídrica está entre as maiores causas de degradação dos solos no mundo, com perdas muito superiores as taxas naturais de reposição (NEEDELMAN, 2013). No Brasil, promove o carreamento de solo, sementes, adubos e agrotóxicos para lagos, rios e oceano.

Como consequência, advém a perda de produtividade, o desmatamento para abertura de novas áreas produtivas, o empobrecimento dos agricultores, o assoreamento e a contaminação dos corpos hídricos e a perda de biodiversidade. Neste cenário, o planejamento das atividades agropecuárias é necessário para diminuir a degradação, com manejo dos solos de acordo com suas vulnerabilidades e potencialidades (ANDRADE; FREITAS; LANDERS, 2010).

## 1.1 Vulnerabilidade Ambiental

A vulnerabilidade é a susceptibilidade dos ambientes de sofrerem danos decorrentes dos processos erosivos e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, oriundos da própria dinâmica do ambiente, como em situações de elevadas declividades e alta erodibilidade dos solos, quanto antropogênica, com o mau uso do solo (CABRAL et al., 2011). Conforme Ross (2012) os indicadores da vulnerabilidade ambiental são o uso do solo, o relevo, o clima e os solos.

O ambiente natural é definido por Tricard, (1977) como um sistema aberto em que os componentes bióticos e abióticos possuem funcionalidades intrínsecas, com interrelações complexas e em permanente equilíbrio dinâmico. Isto incorpora importação e exportação de massas e energia e ajuste contínuo entre processos e as formas resultantes. Esta proposição foi baseada na Teoria Geral dos Sistemas, que, por sua vez, foi concebida por físicos cerca de 200 anos atrás, e permite retratar a realidade com escala que vai desde o universo até qualquer subsistema, por menor que seja (TRICARD, 1977). Derivada desta maneira de entender a realidade, de acordo com Rodrigues (2001), surgiu à abordagem geossistêmica, que foi conceituada pelo soviético Sotchava, na década de 1960 e difundida no ocidente pelo francês Bertrand. Na década de 1970, tal abordagem teve contribuições teóricas de Tricard (1977), principalmente com o conceito de Unidades Ecodinâmicas.

A partir do entendimento dos fluxos de matéria e energia e sua interação com as formas resultantes, os ambientes podem ser estratificados em unidades ecodinâmicas conforme a estabilidade morfodinâmica. Assim, podem ser determinadas as unidades: estáveis, com equilíbrio entre morfogênese e pedogênese; as *intergrades*, intermediárias, suscetíveis a fenômenos de amplificação, com interferência permanente da morfogênese e da pedogênese concorrendo sobre um mesmo espaço; e as unidades instáveis, em que a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica da paisagem (TRICARD, 1977).

Baseado nestas concepções, Ross (1994) propôs a classificação da vulnerabilidade dos ambientes à processos morfodinâmicos com os códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Este método foi intitulado Análise Empírica da Fragilidade Ambiental e foi atualizado em Ross (2012).

O estudo da vulnerabilidade ambiental permite classificar o nível de exposição do ambiente à erosão hídrica, compatibilizando as características naturais à utilização do solo. Mas, para tanto, é necessário considerar os principais componentes ambientais envolvidos neste processo (XAVIER, 2010). De maneira geral, para Bertoni e Lombardi Neto (2008), a susceptibilidade dos solos à erosão hídrica é determinada por forças ativas, como as características da chuva, a declividade e o comprimento da vertente e a capacidade de absorver água pelo solo e, por forças passivas, como a resistência que o solo exerce a ação erosiva da água e a proteção relacionada à densidade da cobertura vegetal.

Mais especificamente, a erodibilidade dos solos deriva da profundidade, da permeabilidade à água e do tamanho das partículas, que se refere à coerência (ROSS, 2012). A profundidade e a permeabilidade interferem na quantidade de água que infiltra ou que escorre superficialmente (ROSS, 2012) e a coerência determina a capacidade das partículas de resistirem ao processo de arraste (RESENDE; REZENDE, 1983). Diversos trabalhos foram desenvolvidos para determinar a erodibilidade de solos brasileiros, mas cabe destacar: Mannigel et al. (2002), que estabeleceram os valores de erodibilidade para os solos do Estado de São Paulo; Carvalho et al. (1989) e Resk et al. (1981) citados por Sá et al. (2004), que, respectivamente, determinaram valores de erodibilidade para Argissolo Vermelho-Amarelo e Nitossolo Háplico, e Silva et al. (2009), para Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho.

Em relação ao vigor do transporte das partículas propiciado pelo relevo, Ross (2012) recomenda a utilização dos valores morfométricos expressos na matriz de índices de dissecação do relevo para as escalas médias de mapeamento. Esta matriz representa as características do relevo nos planos horizontal e vertical, respectivamente, com os índices: entalhamento médio dos vales e distância interfluvial média. De outra maneira, o relevo pode ser representado pelas classes da EMBRAPA (2006) conforme a declividade, comprimento das encostas e configuração superficial dos terrenos, utilizando valores morfométricos e a descrição das formas. Esta classificação foi baseada na *Soil Taxonomy* de Estados Unidos (1999).

Já as características mais importantes das chuvas na determinação da erosividade, de acordo com Silva (2004) e Ross (2012), são a quantidade e a distribuição temporal da pluviosidade. Assim, cabe destacar os trabalhos de Silva (2004), que determinou a erosividade das chuvas para o território brasileiro e classificou a erosividade do sul de Minas Gerais como de média a alta, para

maior parte da região. Mello et al. (2007), que estabeleceram a erosividade mensal e anual para o Estado de Minas Gerais, com erosividade predominante na classe média a alta para a região sul. Com mais detalhe, Aquino et al. (2012) definiram a erosividade para a região sul de Minas Gerais, classificada como alta.

Por fim, a cobertura superficial dos solos, resultado do modo como a terra é utilizada, dos sistemas de cultivo e do manejo, atenua o impacto das gotas das chuvas e a velocidade do deflúvio superficial (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). De acordo com Ross (2012), diferentes tipos de uso determinam diferentes níveis de proteção do solo contra a erosão hídrica. Desta forma, os solos que estão descobertos ou recobertos com culturas temporárias estão mais expostos à erosão que os cultivados com plantas permanentes ou matas (WEILL; SPAROVEK, 2008).

Com abordagem semelhante à de Ross (1994) em relação ao arcabouço teórico e aos procedimentos operacionais, mas sem o componente clima e com a geologia, Crepani et al. (1996) elaboraram um método destinado a subsidiar o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia. Isto por meio da identificação de polígonos em que predominem processos pedogenéticos ou morfogenéticos ou em que estes processos estejam em equilíbrio. Esta proposição tem como produto de sensoriamento remoto mais importante imagens TM-Landsat.

Diante destas duas alternativas operacionais, Sporn (2004) fez a comparação entre os procedimentos propostos por Ross (1994) e Crepani et al. (1996) e concluiu que a última possui um problema relevante devido ao cálculo de média feito na sobreposição dos planos de informação. Santos e Sobreira (2008) compararam as metodologias de Ross (1994) e Crepani et al. (1996) e, com o mapeamento das feições erosivas, feito a partir de trabalhos de campo e imagens de satélite, concluíram que a primeira foi a que melhor se ajustou à realidade de três sub-bacias hidrográficas do rio das Velhas - MG.

Já em relação aos termos frequentemente empregados por Ross (1994) e Crepani et al. (1996), respectivamente, fragilidade e vulnerabilidade, o segundo é mais adequado. Pois, de acordo com Ferreira (2001), denota algo que pode ser vulnerado ou ponto pelo qual alguma coisa pode ser atacada, enquanto fragilidade significa algo débil, pouco vigoroso ou durável.

Independentemente do termo utilizado, foram desenvolvidos diversos trabalhos a partir das proposições de Ross (1994), mas cabe destacar os de: Donha et al. (2006), que abordaram a importância dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e do Processo Analítico Hierárquico (AHP) em estudos sobre vulnerabilidade ambiental, na aquisição de dados, na ponderação sobre a importância relativa dos componentes ambientais e na álgebra de mapas; Silva e Noal (2009) fizeram o mapeamento da susceptibilidade à erosão no Município de Pelotas – RS; Amaral e Ross (2009) utilizaram a abordagem das unidades ecodinâmicas na classificação da vulnerabilidade

ambiental em Teodoro Sampaio – SP; Xavier et al. (2010), estudaram a susceptibilidade à erosão no entorno do reservatório do rio Manso – MT; Corvalán e Garcia (2011) classificaram a vulnerabilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí; Maganhotto, Santos e Oliveira Filho (2011) fizeram o estudo de vulnerabilidade ambiental para auxiliar o planejamento do ecoturismo na Floresta Nacional (FLONA) de Iratí – PR; Silva e Costa (2011) utilizaram a abordagem da vulnerabilidade concomitante a estudos conceituais sobre a paisagem na bacia hidrográfica do rio São Lourenço – MG; Graça e Silveira (2011), com dados do meio físico e variáveis socioeconômicas sobre os padrões de ocupação territorial, modelaram a vulnerabilidade ambiental do córrego Mandacaru em Maringá – PR; Fushita et al. (2011) utilizaram a análise multicriterial com matriz de comparação pareada entre fatores, para caracterizar a vulnerabilidade ambiental da região geoeconômica do médio curso do rio Mogi Guaçu-SP; Franco et al. (2011) aplicaram esta abordagem a uma bacia hidrográfica do rio Almada-BA; e Petsch e Monteiro (2012) salientaram a importância da avaliação em campo dos resultados obtidos com os produtos de sensoriamento remoto.

Outros trabalhos foram desenvolvidos e contribuíram com a proposição de ferramentas computacionais e procedimentos lógicos na elaboração de produtos intermediários e finais. Kawakubo et al. (2005) utilizaram a lógica booleana, para definir os polígonos de vulnerabilidade. Freitas et al. (2005) compararam modelos digitais do terreno, retirados de grade triangular (TIN) e krigagem, no estudo dos geossistemas e na elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico de Serra das Almas - CE/PI. Paula e Souza (2007) fizeram uma revisão conceitual sobre a utilização da lógica fuzzy e do Processo Analítico Hierárquico (AHP) na execução do zoneamento ambiental. Calijuri *et al.* (2007) propuseram a lógica fuzzy e a combinação linear ponderada como parte dos procedimentos para a determinação da vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas dos rios Cajati, Jacupiranga e Registro no sul do Estado de São Paulo.

## **1.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Processo Analítico Hierárquico (AHP)**

Na elaboração dos produtos intermediários sobre os solos, a morfometria do relevo, o clima e os usos e cobertura do solo, bem como do produto final sobre a vulnerabilidade ambiental, Donha et al. (2006) recomendam a utilização da tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Pois, assim é possível avaliar de maneira integrada um grande número de variáveis e gerar

informações intermediárias e finais de forma mais rápida, além de possibilitar a inclusão de variáveis anteriormente não consideradas.

A fim de explorar melhor a capacidade do SIG, em estudos sobre vulnerabilidade ambiental, a integração dos planos de informação pode ser feita com a técnica de Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierarchical Process - AHP), proposto por Saaty na década de 70 (MIARA; OKA-FIORI, 2007). Isto para organizar, avaliar a importância e medir a consistência dos julgamentos. A técnica é baseada na comparação, feita aos pares, da importância relativa de cada fator no processo em questão. Com esta ferramenta lógica é possível ponderar e qualificar a importância relativa de cada variável (RAFFO, 2012).

De acordo com Pinese Junior e Rodrigues (2012), o AHP possibilita hierarquizar os principais fatores envolvidos no processo da erosão hídrica, diminui a subjetividade na ponderação das importâncias relativas e possibilita avaliar o grau de consistência dos julgamentos.

### **1.3 Bacias Hidrográficas**

Como recorte espacial, a legislação ambiental brasileira incentiva que as pesquisas sejam feitas em bacias hidrográficas (resolução nº 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, 1986), que aponta a bacia hidrográfica como unidade básica para estudos ambientais e de uso e ocupação, para reordenar a utilização, a organização espacial e a administração dos recursos naturais (CONAMA, 1986). Isto de maneira consonante com a proposição de que a bacia hidrográfica representa um limite físico no geossistema para determinados processos, como a erosão (CHRISTOFOLETTI, 2007).

A partir de tais pressupostos, a vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, com dados sobre o relevo, os solos, o clima e a cobertura dos solos, foi classificada em SIG, empregando a ponderação da importância relativa de cada componente ambiental pelo AHP na álgebra de mapas. Isto, com vistas a possíveis contribuições ao planejamento ambiental do sul de Minas Gerais.



## REFERÊNCIAS

- AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. As Unidades Ecodinâmicas na Análise da Fragilidade Ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e Entorno, Teodoro Sampaio, SP. In: **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, SP. n. 26, p. 59 – 78. 2009.
- ANDRADE, A. G.; FREITAS, P. L.; LANDERS, J. Aspectos Gerais Sobre o Manejo e Conservação do Solo e da Água e as Mudanças Ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Rio de Janeiro, RJ. 2010.
- AQUINO, R. et al. Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. In: **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG. v. 36, p. 533-542. 2012.
- BARRETTO, A. G. O. P.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, G. Bibliometria, História e Geografia da Pesquisa Brasileira em Erosão Acelerada do Solo. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG. v. 32, p. 2443-2460. 2008.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone. 6.ed. 2008. 355p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.
- CABRAL, J. B. P. et al. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. In: **GeoFocus** (Artículos), Madri. n. 11, p. 51-69. 2011.
- CALIJURI, M. L. et al. Proposta Metodológica para Geração da Carta de Fragilidade Ambiental, Utilizando Lógica Fuzzy e Combinação Linear Ponderada. In: **Anais...** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, INPE, p. 3311 – 3318. 2007.

CONAMA, 1986. **Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986 publicada no Diário Oficial da União, de 17 de fevereiro de 1986.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acessado em: 24/03/2012.

CORVALÁN, S. B.; GÁRCIA, G. J. Avaliação Ambiental da Apa Corumbatai Segundo Critérios de Erodibilidade do Solo e Cobertura Vegetal. In: **Geociências**, UNESP, São Paulo, SP. v. 30, n. 2, p. 269-283. 2011.

CREPANI, E. et al. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado so Zoneamento Ecológico-Econômico.** Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. 1996. 18p.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. Cap.11, pag. 415-437. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 7. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

CUNHA, R. C. et al. Análise da Influência das Variáveis Ambientais Utilizando Inferência Fuzzy e Zoneamento das Vulnerabilidades. Estudo do Caso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. In: **Geociências**, UNESP, São Paulo, SP, v. 30, n. 3, p. 399-414. 2011.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da Fragilidade Ambiental Utilizando Técnicas de Suporte à Decisão e SIG. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, PB, v. 10, n. 1, p. 175-181. 2006.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Services. Soil survey staff. **Soil taxonomy: a basic system of a soil classification for making and interpreting soil surveys.** 2. ed. Washington: USDA, USA, 1999. 169p. (Agriculture Handbook).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Centro Nacional de Pesquisas de Solos, Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306p.

FERREIRA, A. B. H. **Miniaurélio Século XXI Escolar: O minidicionário da língua portuguesa.** 4. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 2001.

FRANCO, G. B. et al. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Almada, Bahia. In: **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, PE, v. 28, n. 2, p. 187-205. 2011.

FREITAS, M. W. D. et al. Aplicações de geoprocessamento no estudo dos geossistemas e Zoneamento Ecológico-Econômico de Serra das Almas (CE/PI). In: **Anais... Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abr. 2005, INPE, p. 2156-2160.

FUSHITA, A. T. et al. Fragilidade ambiental associada ao risco potencial de erosão de uma área da região geoeconômica médio Mogi Guaçu superior (SP). In: **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasília, DF. n. 63/04. 2011.

GOLÇALVES, G. G. G. et al. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. In: **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 4, p. 797-808, out/dez. 2011.

GRAÇA, C. H.; SILVEIRA, H. Aspectos físicos e socioeconômicos como auxílio à análise da fragilidade ambiental na bacia do córrego Mandacaru, Maringá/PR. In: **Revista Geografia (Londrina)**, Londrina, PR. v. 20, n. 1, p. 66-86. jan/abr. 2011.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE**, p. 2203-2210. 2005.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. In: **Science**, Washington, USA. v. 304, n. 5677, p.1623-1627. 2004.

MAGANHOTTO, R. F.; SANTOS, L. J. C.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Análise da Fragilidade Ambiental como Suporte ao Planejamento do Ecoturismo em Unidades de Conservação: Estudo de Caso Flona de Irati-PR. In: **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 2, p. 231-242, abr./jun. 2011.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de São Paulo. In: **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 24, n. 5, p. 1335-1340. 2002.

MARCHIORO, E. et al. Modelagem da produção de sedimentos no noroeste fluminense como subsídio ao planejamento ambiental: Um estudo de caso da bacia do córrego Santa Maria. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, RS. v. 12, n. 1. p. 29-38. 2011.

MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. In: **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP. v. 38, p. 517-526. 2010.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual no Estado de Minas Gerais. In: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF. v. 42, p. 537-545. 2007.

MIARA, M. A. OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – Um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. In: **Revista Ra'eGa**. Curitiba, PR: editora UFPR, n. 13, p. 85-98. 2007.

NEEDELMAN, B. A. What are Soils?. In: **Nature Education Knowledge**, Cambridge, USA, v. 4, n. 3. 2013.

PAULA, E. M. S.; SOUZA, M. J. N. Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental. In: **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Florianópolis, SC, 21-26 abr. 2007.

PETSCH, C.; MONTEIRO, J. B. Adaptação da carta de vulnerabilidade ambiental da bacia do córrego Arapuca: Importância da avaliação em campo. In: **Revista Geonorte**, Manaus, AM. Edição especial, v. 2, n. 4, p.1158-1169. 2012.

PINESE JUNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica –AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). In: **Revista do Departamento de Geografia – USP**. São Paulo, SP: FFLCH-USP, v. 23. p. 4-26. 2012.

RAFFO, J. G. G. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. In: **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, SP: FFLCH-USP, volume especial de 30 anos, p. 26-37. 2012.

RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Levantamento de Solos: uma Estratificação de Ambientes. In: **Inf. Agropec.** Belo Horizonte, MG, v. 9, p. 1-25, set. 1983.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e suas contribuições aos estudos geográficos e ambientais. In: **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo. n. 14, p. 69-77. 2001.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, FFLCH-USP, n. 8. 1994.

ROSS, J. L. S. Landforms and Environmental Planning: potentialities and fragilities. In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, FFLCH-USP, volume especial de 30 anos, p. 38-51. 2012.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo . In: **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, v. 06. 1992.

SÁ, M. A. C. et al. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. In: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 7, p. 691-699. jul. 2004.

SAATY, T. L. How to make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. In: **European Journal of Operational Research**, North-Holland, Países Baixos, v. 48, p. 9-26. 1990.

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 Bação e ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, RS, v. 9, n. 1, p.65-73. 2008.

SILVA, A. M. *Rainfall Erosivity Map for Brazil*. In: **Catena**, Amsterdam, v. 57, p. 251-259. 2004.

SILVA, G. A.; COSTA, R. A. Paisagem e fragilidade ambiental natural da bacia hidrográfica do ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/Prata – MG. In: **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v. 12, n. 39, p. 151-166. set. 2011.

SILVA, M. S. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG. v. 33, p. 1811-1820. 2009.

SILVA, R. C.; NOAL, R. E. Mapeamento das Áreas de Susceptibilidade à Erosão no Município de Pelotas/RS. In: **Geografia: Ensino e Pesquisa**, Santa Maria/RS. v. 13, n. 2, p. 209-216. 2009.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. In: **GEOUSP -Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p.39-49. 2004.

TRICARD, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro - RJ. FIBGE/SUPREN. 1977.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da Erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I – estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG v.32, p.801-814. 2008.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Supersedes Agriculture Handbook. United States department of Agriculture.** Washington, 1978.

XAVIER, F. V. et al. Análise da suscetibilidade à erosão laminar na bacia do rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando Sistemas de Informações Geográficas. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, RS, v. 11, n. 2. p. 51-60. 2010.

**CAPÍTULO II - ARTIGO: VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO MANDU, SUL DE MINAS GERAIS**

**Artigo redigido conforme as normas da Revista Sociedade e Natureza**



## VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANDU, SUL DE MINAS GERAIS

### Environmental Vulnerability of Mandu River Watershed, Southern Minas Gerais

**Resumo** - A erosão hídrica é uma das maiores causas de depauperamento dos solos no Brasil e no mundo. Neste cenário, o objetivo deste trabalho foi aplicar a Análise Empírica da Fragilidade Ambiental, para classificar a vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, no sul de Minas Gerais. Isto, considerando os componentes ambientais: usos do solo, relevo, solos e clima, em ordem decrescente de importância, estabelecida pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP), que interferiu no resultado final e é recomendado na aplicação deste método. Desta forma, ficou estabelecido que na maior parte da sub-bacia os usos do solo estão inadequados. Nesta, 33,67% da área deveriam ser de preservação permanente e os locais utilizáveis, precisariam ser manejados adequadamente, principalmente as pastagens. Assim 52,91% teria baixa vulnerabilidade. Também, a eliminação dos solos expostos e o rearranjo dos locais com agricultura temporária contribuiriam muito com a atenuação dos impactos ambientais e acabariam com as áreas de vulnerabilidade ambiental muito forte e forte.

**Palavras-Chave:** Erosão Hídrica; Fragilidade Ambiental; Uso do Solo; Rio Grande.

**Abstract** – Water erosion is one the greatest cause of depletion of soils in Brazil and worldwide. Therefore, the aim of this work was to apply the Empirical Analysis of Environmental Fragility, to classify environmental vulnerability to erosion of the Mandu river watershed, southern Minas Gerais State. This, considering the environmental components: land use, relief, soils and climate, in descending order of priority established by Analytical Hierarchy Process (AHP), which interfered with the final outcome and is recommended when applying this method. In this way, it was established that most of the watershed land uses are inadequate. In this, 33,67% of the area should be permanent preservation and the usable sites, need to be properly managed, mainly pastures. So 52,91% would have low vulnerability. Also, the exposed soil elimination and the rearrangements in locals with temporary agriculture contribute much with attenuation of environmental impacts and phase out areas with very strong and strong vulnerability.

**Key-Words:** Water Erosion; Environmental Fragility; Land Use; Grand River.

### INTRODUÇÃO

A erosão hídrica está entre as principais causas de degradação dos solos no mundo, com perdas muito superiores às taxas naturais de reposição (NEEDELMAN, 2013). No Brasil, a erosão acelerada promove o carreamento de solos, sementes, adubos e agrotóxicos para lagos, rios e oceano. Como consequência, advém a perda de produtividade, o avanço das fronteiras agrícolas, o empobrecimento dos agricultores, o assoreamento e a contaminação dos corpos d'água e a perda de biodiversidade nos diferentes biomas. Neste cenário, o planejamento das atividades agropecuárias, considerando as vulnerabilidades e potencialidades dos ambientes, é necessário para minimizar a degradação (ANDRADE *et al.*, 2010).

De acordo com Tricard (1977), o ambiente natural é um sistema aberto em que os componentes bióticos e abióticos possuem funcionalidades intrínsecas, com interações complexas e está em permanente equilíbrio dinâmico. Isto incorpora importação e exportação de massas e energia e ajuste contínuo entre processos e as formas resultantes. Entendidos tais fluxos, as características naturais e de uso antrópico, os ambientes podem ser estratificados em unidades ecodinâmicas conforme a estabilidade morfodinâmica. Assim, podem ser

determinadas unidades: estáveis, com equilíbrio entre morfogênese e pedogênese; *intergrades*, intermediárias, com interferência permanente da morfogênese e da pedogênese concorrendo sobre um mesmo espaço, suscetíveis a fenômenos de amplificação; e instáveis, com a morfogênese predominando na dinâmica da paisagem (TRICARD, 1977).

Baseado nesta concepção, Ross (1994) propôs a Análise Empírica da Fragilidade Ambiental com a classificação das vulnerabilidades do ambiente aos processos morfodinâmicos em muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5).

O estudo da vulnerabilidade ambiental permite classificar o nível de exposição do ambiente à erosão hídrica, compatibilizando as características naturais à utilização do solo. Mas, para tanto, é necessário considerar os principais componentes ambientais envolvidos neste processo (XAVIER, 2010). Para Ross (2012) tais componentes são: o uso do solo, o relevo, relacionado com o embasamento geológico, o solo e o clima, que formam um conjunto de condições ambientais que favorecem ou não a ação dos processos erosivos. De acordo com Wischmeier e Smith (1978) os fatores determinantes são: a erosividade das chuvas (R), a erodibilidade do solo (K), a declividade e o comprimento da vertente (LS), a cobertura do solo (C) e as práticas conservacionistas (P), que estão sintetizados na Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS).

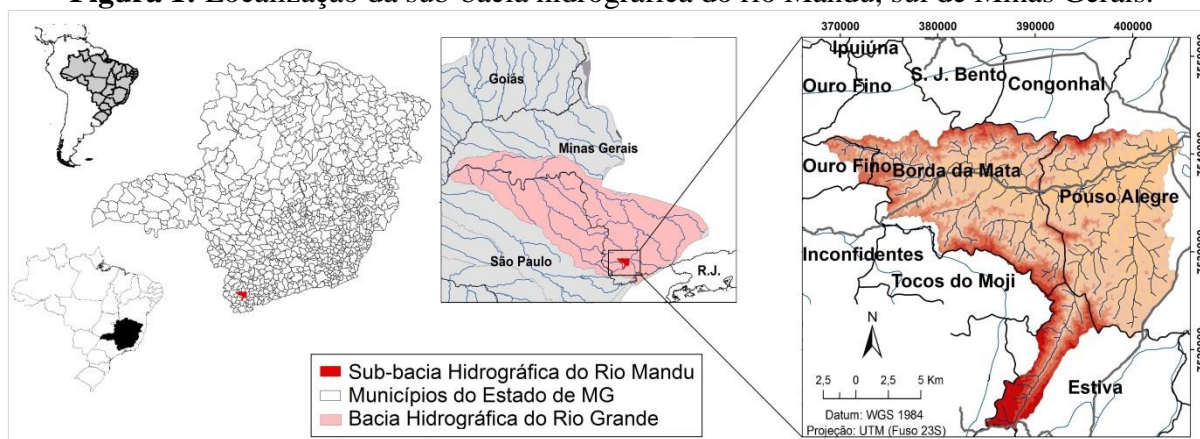
Para gerar os planos de informações com dados sobre os componentes e sintetizar as características ambientais, Donha *et al.* (2006), recomendam a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Pois, integram um grande número de variáveis e permitem a rápida geração de informações intermediárias e finais e a inclusão de novas variáveis. Nesta etapa, Miara e Oka-Fiori (2007) sugerem o Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierarchical Process - AHP) de Saaty (1990), para organizar, avaliar a importância relativa de cada variável e medir a consistência dos julgamentos. De acordo com Raffo (2012), a técnica é baseada na lógica da comparação aos pares em relação a uma meta ou critério. Desta forma, é possível ponderar e qualificar a importância relativa de cada variável.

A partir de tais pressupostos, a vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, com dados sobre a cobertura dos solos, o relevo, os solos e o clima, foi classificada em SIG, empregando a ponderação da importância relativa de cada componente ambiental pelo AHP na álgebra de mapas. Isto, com vistas a possíveis contribuições ao planejamento ambiental do sul de Minas Gerais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A sub-bacia hidrográfica do rio Mandu pertence à sub-bacia do rio Sapucaí, afluente da bacia do rio Grande. Com área de 50.060,50 ha, abrange áreas dos municípios de Ouro Fino, Borda da Mata, Estiva e Pouso Alegre, no sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1).

**Figura 1:** Localização da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, sul de Minas Gerais.



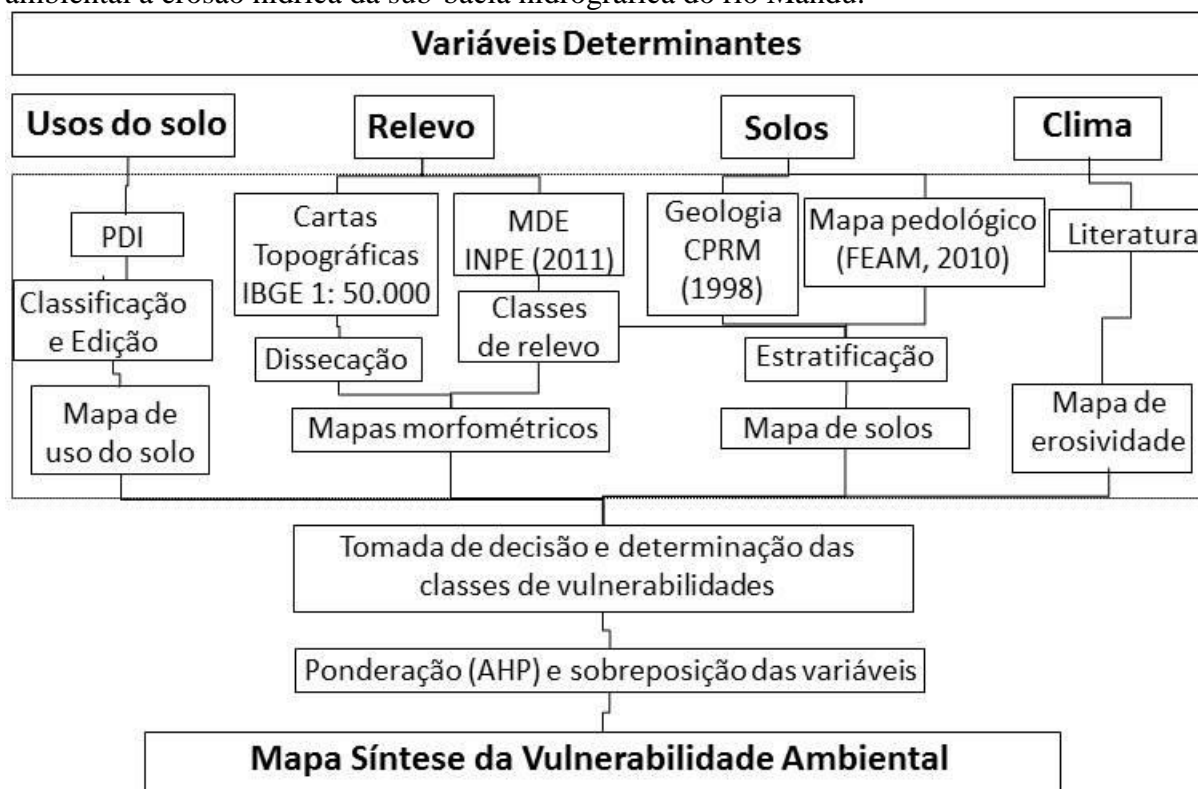
**Fonte:** ESRI (2010) e INPE (2011). Organização dos autores.

O arcabouço geológico da área de estudo é predominantemente constituído por complexos granito-gnáissicos e integra o Sistema Orogênico do Tocantins (CPRM, 1998). Tal estrutura sustenta o modelado geomorfológico denominado Domínio das Unidades Denudacionais em Rochas Cristalinas ou Sedimentares (MACHADO e SILVA, 2010). Associados a esta paisagem estão solos argilosos, que, em sua maioria, são profundos, com predomínio dos tipos com horizonte B latossólico e com B textural (FEAM, 2010), muito intemperizados devido à ação climática.

Conforme o critério de classificação de Köppen, o clima é tropical de altitude (Cwa e Cwb), com verões úmidos e brandos e invernos secos e frios (SPAROVEK *et al.*, 2007). O bioma correlacionado a estas características ambientais é o da Mata Atlântica, com Floresta Estacional Semidecidual (SCOLFORO, 2009).

Neste cenário, a classificação da vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica foi baseada em Ross (2012). Para tanto, os componentes ambientais empregados foram usos do solo, relevo, solos e clima, alicerçados por valores de: cobertura do solo (C), erodibilidade dos solos (K) e erosividade das chuvas (R), fatores da EUPS. Para representação do relevo foram comparados os índices de dissecação (ROSS, 2012) e as classes da EMBRAPA (2006). Por fim, para avaliação da vulnerabilidade ambiental foi adotada a álgebra de mapas com e sem ponderação dos componentes ambientais pela AHP (Figura 2).

**Figura 2:** Roteiro dos procedimentos adotados para classificação da vulnerabilidade ambiental a erosão hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu.



Inicialmente, o mapeamento dos usos do solo foi feito a partir de imagens do sensor Operational Land Imager (OLI) a bordo do satélite Landsat 8, nos canais espectrais 4 (R), 3 (G) e 2 (B), disponíveis em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. A composição colorida de cor verdadeira, o recorte da área de interesse, o realce do histograma de frequência de intensidade

das células (*percent clip*) e fusão com o canal 8, pancromático (15 x 15 m), foram realizadas no ArcGIS 10.1.

A segmentação da composição colorida foi efetuada pelo método de similaridade dos tons de cinza no aplicativo ENVI 4.5. De acordo com Almeida Filho *et al.* (1998), este método é baseado no agrupamento de células que guardam semelhança com seus vizinhos. Para Vasconcelos e Novo (2004), o agrupamento é determinado pelo limiar de similaridade, que define a diferença mínima entre o valor de uma célula e o valor médio da região adjacente. Caso a diferença entre o valor da célula e a média da região vizinha seja maior do que o valor de similaridade definido pelo usuário, a célula não pertencerá àquele agrupamento. Por sua vez, o limiar de área representa o número de células necessário para separar um agrupamento de outro e conforme esse valor diminui, aumenta o número de agrupamentos gerados. Após testes, os valores para o limiar de similaridade e para o limiar de área foram, respectivamente, 60 e 65. A partir destes valores, os segmentos foram agrupados conforme os atributos *Spatial, Spectral, Texture, Color Space e Band Ratio* e classificados de acordo com áreas amostradas na composição colorida. Disto foi obtido arquivo vetorial, que foi corrigido no ArcGIS 10.1 com reclassificação manual.

A vulnerabilidade da cobertura do solo foi classificada conforme Ross (2012), para o qual há relação inversa entre a densidade de cobertura e as perdas de solo, e foi alicerçada por valores do fator C da EUPS. Para as áreas com pastagem, foi considerado o valor de pastagem degradada, devido ao aspecto geral observado em campo e a não terem sido observadas técnicas de manejo básicas, como o pastejo rotacional.

Já o relevo foi classificado a partir dos valores morfométricos dos índices de dissecação (ROSS, 2012) e das classes da EMBRAPA (2006). Os índices foram extraídos da altimetria expressa nas cartas topográficas do IBGE (1971a; 1971b; 1972a; 1972b; 1972c) e as classes de relevo do Modelo Digital de Elevação (MDE) Topodata do INPE (2011). Deste MDE, também foram determinadas a área de contribuição e a hidrografia da área, com os algoritmos de direção e de acumulo de fluxo do aplicativo ArcGIS 10.1 (ESRI, 2010).

Os parâmetros dos índices de dissecação do relevo no plano horizontal e vertical, respectivamente, dimensão interfluvial média e entalhamento médio dos vales, são apresentados na Tabela 1, adaptada de Ross (2012).

**Tabela 1:** Índices de dissecação do relevo.

Índice de Dissecação	Legenda	Dimensão Interfluvial Média				
	Muito Fraca (1)	Muito Grande (1)	Grande (2)	Média (3)	Pequena (4)	Muito Pequena (5)
	Fraca (2)	>3750 m (real)	1750 a 3750 m (real)	750 a 1750 m (real)	250 a 750 m (real)	<250 m (real)
	Média (3)	>7,5 cm (mapa)	3,5 a 7,5 cm (mapa)	1,5 a 3,5 cm (mapa)	0,5 a 1,5 cm (mapa)	0,5 cm (mapa)
	Forte (4)					
	Muito Forte (5)					
Entalhamento Médio dos Vales	Muito Fraco (1) <20 m	1 1	1 2	1 3	1 4	1 5
	Fraco (2) 20 a 40 m	2 1	2 2	2 3	2 4	2 5
	Médio (3) 40 a 80 m	3 1	3 2	3 3	3 4	3 5
	Forte (4) 80 a 160 m	4 1	4 2	4 3	4 4	4 5
	Muito Forte (5) 160 m	5 1	5 2	5 3	5 4	5 5

**Fonte:** Adaptado de Ross (2012).

A representação da morfometria conforme as classes do sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2006) (Tabela 2) foi feita a partir da declividade e da altitude, adquiridos do MDE (INPE, 2011), e do conhecimento prévio da área de estudo pelo especialista em cartografia de solos, como recomendado por Nolasco-Carvalho *et al.* (2009).

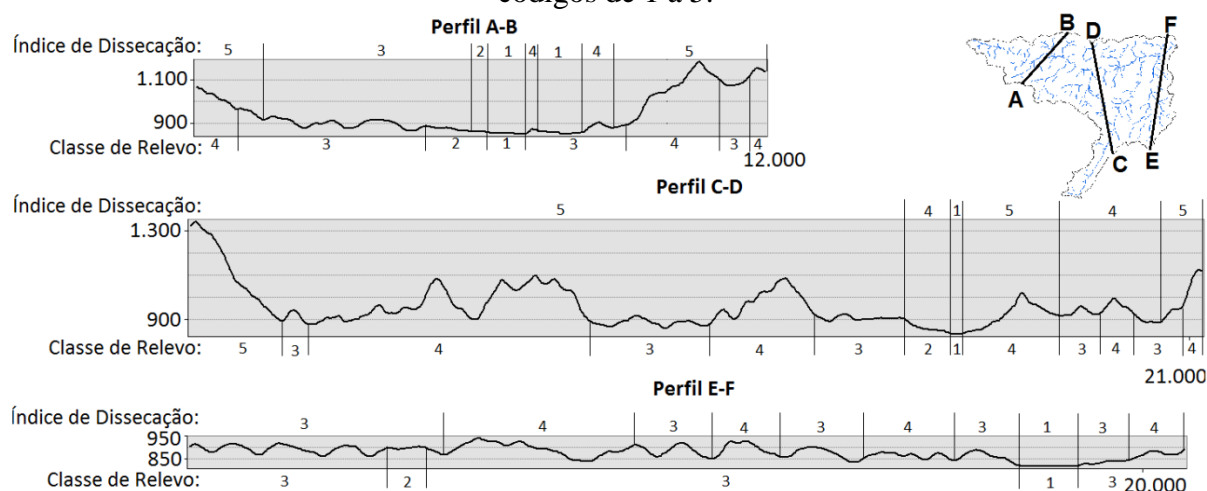
**Tabela 2:** Classes de relevo, declividade e tipos.

Classes de Relevo	Declive	Tipo de Relevo
Plano (1)	$\leq 3\%$	Plano
Suave Ondulado (2)	$> 3$ a $\leq 8\%$	Colinas e/ou Outeiros
Ondulado (3)	$> 8$ a $\leq 20\%$	Colinas e/ou Outeiros
Forte Ondulado (4)	$> 20$ a $\leq 45\%$	Outeiros e/ou Morros
Montanhoso (5)	$> 45$ a $\leq 75\%$	Morros e Montanhas
Escarpado (5)	$> 75\%$	Escarpamentos

**Fonte:** EMBRAPA (2006), baseado em Estados Unidos (1999).

A decisão sobre a representação morfométrica ideal foi fundamentada nas checagens em campo e nos perfis topográficos (Figura 3), extraídos do MDE (INPE, 2011), traçados a montante, no médio curso e a jusante da sub-bacia.

**Figura 3:** Perfis topográficos esquemáticos a montante (A-B), no médio curso (C-D) e a jusante (E-F) na sub-bacia hidrográfica do rio Mandu com as representações do relevo conforme os índices de dissecação (ROSS, 2012) e as classes da EMBRAPA (2006), nos códigos de 1 a 5.



**Fonte:** INPE (2011).

A partir dos arquivos vetoriais dos mapas com as classes da EMBRAPA (2006) para o relevo, da geologia (CPRM, 1998) e da Folha 3 do mapa pedológico (FEAM, 2010), o mapa de solos foi aprimorado para 1:200.000, com as classes de solos de acordo com EMBRAPA (2006). Isto por meio de edições dos atributos destes arquivos no ArcGIS 10.1 pelo especialista em cartografia de solos, conforme as relações solo-paisagem.

As relações solo-paisagem e as novas unidades de mapeamento, estratificadas a partir das unidades do mapa de solos da FEAM (2010), estão discriminadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Combinações utilizadas para estratificar as unidades de mapeamento de solos da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu.

Unidades de Mapeamento		Relevo	Solo
FEAM <i>et al.</i> 2010	Novas Unidades		
CXbd1	CXbd1	Ondulado	CX
	CXbd2	Forte ondulado	CX
LVAd15	LVAd1	Plano	LVA
	LVAd2	Suave ondulado	LVA
	LVAd5	Ondulado	LVA
LVAd21	LVAd4	Suave ondulado	LVA
	LVAd6	Ondulado	LVA
	CXbd3	Montanhoso	CX
LVAd25	LVAd3	Ondulado	LVA
	CXbd4	Forte ondulado	CX
LVAd6	CXbd2	Forte ondulado	CX
	LVd2	Plano	LV
NXd1	LVd2	Suave ondulado	LV
	LVd3	Ondulado	LV
	NXd1	Suave ondulado	NX
NXd1	NXd2	Ondulado	NX
	CXbd2	Forte ondulado	CX
	PVAd11	PVAd5	Ondulado
PVAd2	PVAd4	Forte ondulado	PVA
	PVAd1	Plano	PVA
	PVAd2	Suave ondulado	PVA
	PVAd3	Ondulado	PVA
	CXbd2	Forte ondulado	CX
PVAd3	PVAd3	Ondulado	PVA
	CXbd2	Forte ondulado	CX
	CXbd3	Montanhoso	CX
PVd1	PVd1	Plano	PV
	PVd2	Suave Ondulado	PV
	PVd3	Ondulado	PV
RUbd1	SIV	Plano	SIV

Siglas: CXb: Cambissolo Háplico; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LV: Latossolo Vermelho; NX: Nitossolo Háplico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; PV: Argissolo Vermelho; RL: Neossolo Litólico; SIV: Solos Indiscriminados de Várzea; d: Distrófico.

**Fonte:** INPE (2011) e FEAM *et al.* (2010).

Os solos indiscriminados de várzea (SIV) foram espacializados como os Neossolos Flúvicos de FEAM (2010) na planície próxima à foz do rio. Para o restante da área foi adotada a dimensão média das principais planícies, obtida a partir de observações em campo e em imagens do Google Earth. Assim, os solos de várzea se estendem por 50 m em cada margem dos canais fluviais e foram delimitados por buffer contíguo a drenagem.

A vulnerabilidade ambiental dos solos foi classificada conforme a indicação de Ross (2012) de que há uma relação inversa entre os parâmetros profundidade, permeabilidade e coerência das partículas do solo e a erodibilidade. Esta proposta foi amparada pelos valores do fator K, da EUPS, obtidos na literatura.

Por fim, em relação ao clima regional, Silva (2004) classificou a erosividade das chuvas, entre 6.000 e 8.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, como de média a alta, confirmada por Mello *et al.* (2007), que consideraram a pluviosidade média anual de 1.600 a 1.865 mm. Entretanto, a erosividade adotada neste caso foi de 6.500 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (AQUINO *et*

al., 2012), classificada como alta em estudo sobre erosividade no sul de Minas Gerais, numa escala mais apropriada.

A partir dos produtos cartográficos intermediários sobre usos do solo, relevo, solos e clima foram feitas as operações algébricas conforme a classificação detalhada na Tabela 4.

**Tabela 4:** Critérios e classificação da vulnerabilidade de cada componente do ambiente.

Componentes	Classe de Vulnerabilidade					
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	
Antrópico Uso do Solo	Tipo de uso	Mata <sup>(1)</sup> ; Água <sup>(2)</sup> ; Área urbana <sup>(3)</sup>	-	Pastagem degradada <sup>(4)</sup> ; Café <sup>(5)</sup> ; Eucalipto <sup>(6)</sup>	Culturas Temporárias <sup>(7)</sup>	Solo Exposto <sup>(8)</sup>
	Fator C	0,0001 <sup>(1)</sup> e 0 <sup>(2)</sup> e <sup>(3)</sup>	-	0,10 <sup>(4)</sup> ; 0,1126 <sup>(5)</sup> e 0,30 <sup>(6)</sup>	0,5500 <sup>(7)</sup>	1 <sup>(8)</sup>
Naturais Relevo	Dissecação	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito Forte
	Classes de relevo	Plano	Suave Ondulado	Ondulado	Forte Ondulado	Montanhoso
Naturais Solo	Tipo de solo	LVd <sup>(9)</sup> ; SIV <sup>(10)</sup>	LVA <sup>(11)</sup> ;	PVd <sup>(12)</sup> ; NXd <sup>(13)</sup> ; PVA <sup>(14)</sup> ;	CXbd <sup>(15)</sup> ;	-
	Fator K	0,0061 <sup>(9)</sup> e 0 <sup>(10)</sup>	0,0112 <sup>(11)</sup>	0,0228 <sup>(12)</sup> ; 0,023 <sup>(13)</sup> ; 0,027 <sup>(14)</sup> e	0,0355 <sup>(15)</sup>	-
Clima	Erosividade das chuvas	-	-	-	6.500 <sup>(16)</sup>	-

**Fonte:** <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> <sup>(7)</sup> Weill e Sparovek (2008); <sup>(4)</sup> Roose (1977); <sup>(5)</sup> Prochnow *et al.* (2005); <sup>(6)</sup> Martins *et al.* (2010); <sup>(8)</sup> Bertoni e Lombardi Neto (2008); <sup>(9)</sup> <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> Mannigel *et al.* (2002); <sup>(10)</sup> recomendações de Silva *et al.* (2013); <sup>(13)</sup> Carvalho *et al.* (1989) citado por Sá *et al.* (2004); <sup>(14)</sup> Resk *et al.* (1981) citado por Sá *et al.* (2004); <sup>(15)</sup> Silva *et al.* (2009); <sup>(16)</sup> Aquino *et al.* (2012);

Para as operações algébricas com os componentes ambientais em SIG foram padronizados o *datum* e as coordenadas de projeção de todos os mapas. Ainda, os planos de informação vetoriais foram transformados em matriciais, com células de mesmo tamanho. Assim, as álgebras de mapas foram processadas com operações pontuais pela ferramenta “*Weighted Sum*” do ArcGIS 10.1. Primeiramente, as operações algébricas foram processadas com ponderação (Equação 1) e, após, sem ponderação (Equação 2).

$$VA = U \times 0,5147 + R \times 0,2590 + S \times 0,1551 + C \times 0,0712 \quad \text{(Equação 1)}$$

$$VA = U \times 0,25 + R \times 0,25 + S \times 0,25 + C \times 0,25 \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que: VA é a vulnerabilidade ambiental; U é o componente uso do solo; R é o componente relevo; S é o componente solo; C é o componente clima.

A Tabela 5 detalha a ponderação de cada componente ambiental. As comparações foram feitas par-a-par em matriz recíproca de acordo com os critérios de importância relativa, que vão de 1 a 9, entre as categorias “de igual importância” até “extremamente mais importante”. Após a construção desta matriz de comparação pareada, foi feita a normalização das colunas e das linhas. A partir da média dos valores de cada linha normalizada foi atribuído o peso de cada componente em relação aos processos erosivos hídricos. Já para avaliar a coerência dos julgamentos foi utilizado o índice de consistência, que Saaty (1990) estabelece que seja menor que 0,1 ou 10% (Anexo I).

Os critérios de importância relativa foram atribuídos considerando a relevância de cada fator da EUPS nos resultados finais (WEILL e SPAROVEK, 2008), conforme a proposição de Freitas *et al.* (2012) de que a cobertura do solo é o fator de maior importância no controle da erosão hídrica e, ainda, de acordo com observações em campo. Em vista disto, o principal componente ambiental foi o uso do solo, pois a alteração da cobertura vegetal rompe o equilíbrio dinâmico do ambiente e acelera a erosão. O relevo também tem papel acentuado neste processo, já que na comparação entre locais com mesma cobertura e tipo de solo e, até mesmo em locais com solos diferentes, o relevo foi determinante na formação de feições erosivas. Portanto, nesta escala de trabalho, os tipos de solos são menos relevantes e estão vinculados ao relevo. Por sua vez, o clima é pouco influente, porquanto mesmo com elevada erosividade formaram-se solos espessos, que denotam estabilidade natural entre morfogênese e pedogênese na área.

**Tabela 5:** Comparação pareada e ponderações dos componentes ambientais pelo AHP.

Parâmetros para comparação pareada								
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema- mente	Muito forte- mente	Forte- mente	Modera- damente	Igual- mente	Modera- damente	Forte- mente	Muito forte- mente	Extrema- mente
Menos importante				Mais importante				
Fatores	Comparação pareada				Pesos de Importância Calculados			
	Uso do solo	Relevo	Solo	Clima				
<b>Uso do solo</b>	1	-	-	-	<b>0,5147</b>			
<b>Relevo</b>	1/3	1	-	-	<b>0,2590</b>			
<b>Solo</b>	1/3	1/3	1	-	<b>0,1551</b>			
<b>Clima</b>	1/6	1/3	1/3	1	<b>0,0712</b>			
Índice de Consistência (IC) = 0,059								

**Fonte:** Adaptado de Donha *et al.* (2006), baseado em Saaty (1990).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

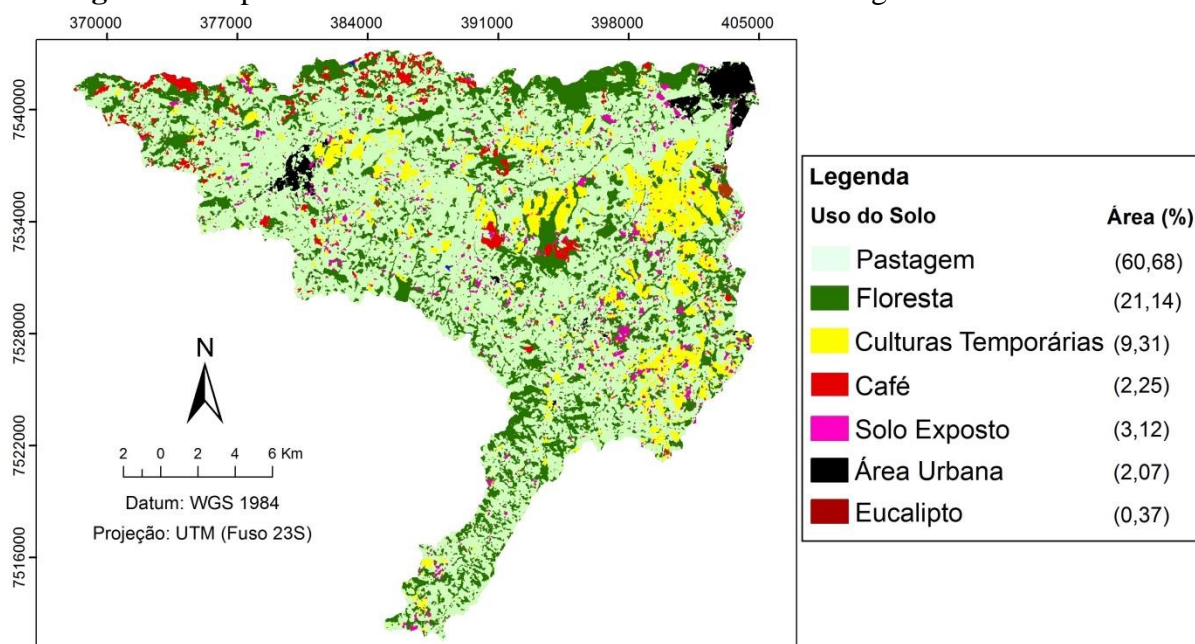
A classificação da vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica de muito fraca a muito forte foi feita com dados sobre os componentes ambientais: usos do solo, relevo, solos e clima.

Os usos do solo são determinantes no equilíbrio ou aceleração dos processos erosivos. Na sub-bacia hidrográfica do rio Mandu a utilização é diversificada (Figura 4) e propicia diferentes graus de vulnerabilidade. Nesta, as culturas temporárias encontradas foram o morango, alho, milho, mandioca, batata e hortaliças. Os cultivos de morango estão concentrados em Pouso Alegre e Estiva, enquanto o do alho é mais praticado em Borda da Mata e Ouro Fino. Já os cultivos de milho, mandioca e batata, estão próximos às planícies mais extensas em Borda da Mata e Pouso Alegre. As hortaliças são cultivadas de maneira desconcentrada, em todos os municípios. Os cafezais estão concentrados nas áreas com relevo mais íngreme, principalmente na parte norte e central de Borda da Mata. Já os povoamentos



de eucalipto estão dispersos e a maior concentração fica ao sul da área urbana de Pouso Alegre.

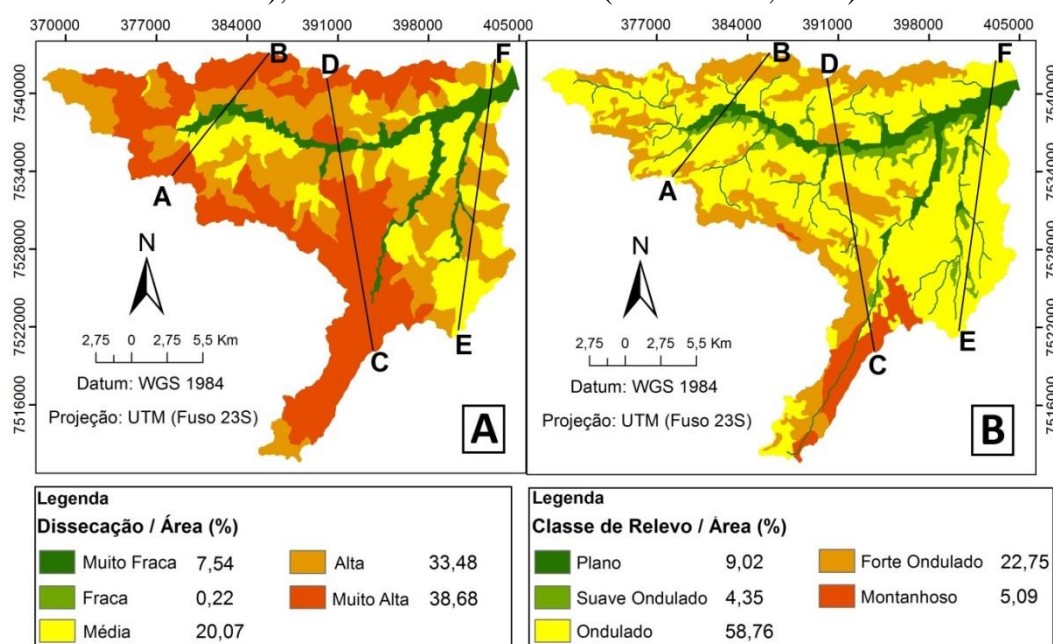
**Figura 4:** Mapa de usos e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu.



**Fonte:** Composição colorida de imagens Landsat OLI 8 nos canais 4 (R), 3 (G), 2 (B) e 8 (pancromática), órbita 219 e ponto 75, de junho de 2013.

Já as representações do relevo da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, foram feitas de acordo com as classes da EMBRAPA (2006) e com os índices de dissecação (ROSS, 2012) e estão ilustradas na Figura 5.

**Figura 5:** Mapas morfométricos da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, com indicação dos perfis topográficos A-B, C-D e E-F da Figura 2. 5A: Índices de dissecação do relevo (ROSS, 2012); e 5B: Classes de relevo (EMBRAPA, 2006).



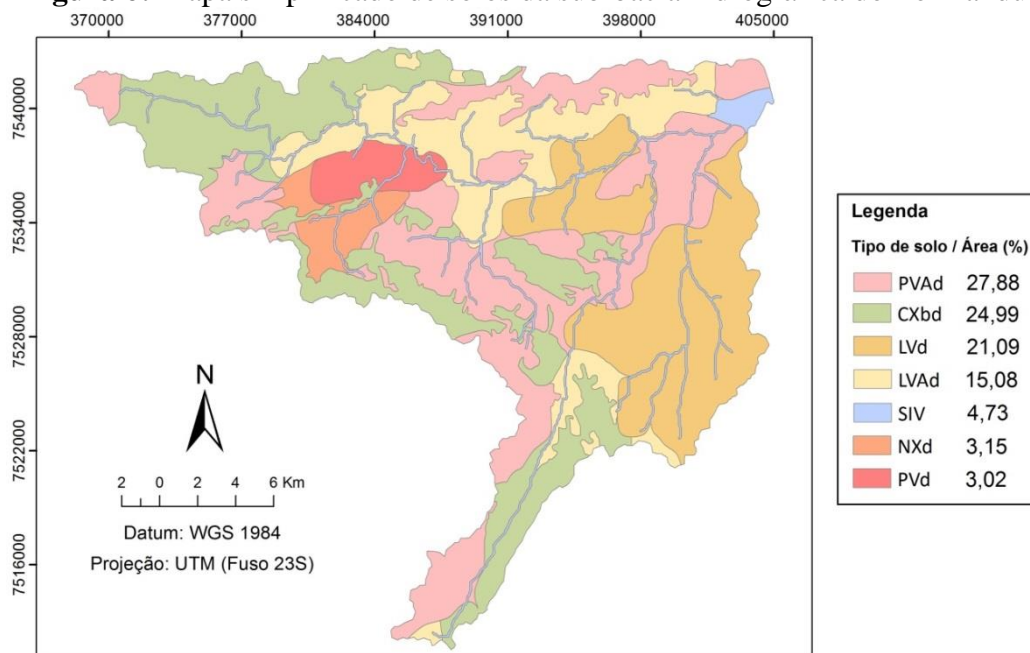
**Fonte:** INPE (2011) A e IBGE (1971a; 1971b; 1972a; 1972b; 1972c) B.

As duas representações apresentaram similaridade apenas entre a representação da dissecação muito fraca (Figura 5A) e do relevo plano (Figura 5B). Os índices de dissecação (Figura 5A) indicaram maior área com relevo de vulnerabilidade alta e muito alta, devido à influência da dissecação no plano horizontal.

Dos perfis topográficos (Figura 3), dos mapas morfométricos (Figura 5) e das observações em campo, foi constatado que as classes da EMBRAPA (2006) melhor representaram o relevo, com maior coerência nos agrupamentos em classes nos três perfis e conforme a realidade. Nos perfis A-B e C-D ocorreu melhor estratificação e no perfil E-F a generalização maior, comparada aos índices de dissecação, foi mais adequada.

Em relação aos solos, os tipos encontrados na sub-bacia e a distribuição espacial estão ilustrados na Figura 6.

**Figura 6:** Mapa simplificado de solos da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu.



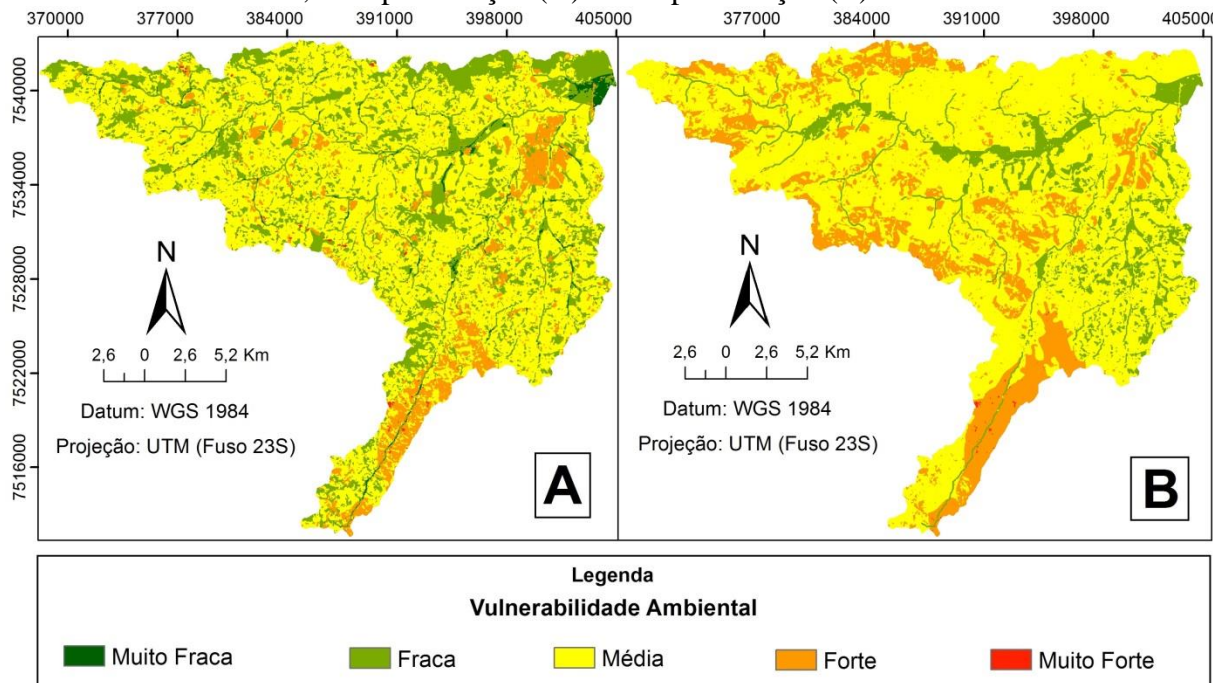
**Fonte:** FEAM (2010) e INPE (2011).

De maneira geral, Latossolo é o grupamento de solos com B latossólico, de perfil evoluído e estágio avançado de intemperização (EMBRAPA, 2006). Para Resende *et al.* (2002), os Latossolos argilosos são os solos de menor erodibilidade. Porquanto, são bastante permeáveis, mas razoavelmente coerentes. Outros solos com perfil evoluído são os Argissolos, grupamento de solos com B textural, com incremento do teor de argila do horizonte A para o B, assim como os Nitossolos (EMBRAPA, 2006). A diferença textural entre os horizontes dificulta a infiltração de água imediatamente abaixo do horizonte A e favorece a erosão (RESENDE *et al.*, 2002). Já os Cambissolos são solos rasos de perfil pouco evoluído, com horizonte B incipiente (EMBRAPA, 2006). De acordo com Silva *et al.* (2013), os Cambissolos têm problemas de permeabilidade e são vulneráveis a processos erosivos. Para o autor, os solos de várzea ocorrem em áreas com declive praticamente nulo, com excesso de água e não sujeitos à erosão.

Na sequência, a vulnerabilidade do componente clima foi classificada como alta, com erosividade de  $6.500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (AQUINO *et al.*, 2012).

A partir de então, as operações algébricas foram realizadas e a vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica obtida para esta sub-bacia está ilustrada na Figura 7 e as áreas percentuais de cada representação estão detalhadas na Tabela 6.

**Figura 7:** Mapas da vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, com ponderação (A) e sem ponderação (B) de cada fator.



**Fonte:** Organização dos Autores.

**Tabela 6:** Área percentual de cada classe de vulnerabilidade ambiental.

Classes de Vulnerabilidade	Vulnerabilidade Ambiental	
	Área (%)	
	Com AHP	Sem Ponderação
Muito Fraca	1,12	0
Fraca	25,26	11,3
Média	63,62	69,8
Forte	9,7	18,83
Muito Forte	0,3	0,07

A vulnerabilidade ambiental pelo AHP (Figura 7A), processada conforme a Equação 1, ficou mais bem ajustada à realidade. Pois, assim ficou evidente a importância dos usos do solo e da vegetação na intensidade dos processos erosivos hídricos, como determinado por Weill e Sparovek (2008), Martins *et al.* (2010), Freitas *et al.* (2012), dentre outros.

De acordo com a Figura 7A, os locais com Cambissolos sem nenhum tipo de cobertura em relevo forte ondulado ou montanhoso foram qualificados como de vulnerabilidade muito forte. Já os solos rasos em relevo montanhoso com pastagens degradadas e com agricultura temporária, foram classificados como de vulnerabilidade forte. Tais solos em relevo forte ondulado ou ondulado com agricultura temporária ou em relevo ondulado com solos expostos foram classificados da mesma forma. Isto em conformidade com as restrições descritas por Silva *et al.* (2013) para este tipo de solo.

Na mesma figura, solos medianamente vulneráveis, com horizonte B textural, tiveram resultados semelhantes aos de Paes *et al.* (2010) para este tipo. Passaram a classe de

vulnerabilidade forte em relevo ondulado ou forte ondulado quando expostos ou utilizados para agricultura temporária. Estes mesmos solos em relevo ondulado com cultivos de café e eucalipto e pastagens degradadas foram classificados como medianamente vulneráveis. Com estes mesmos usos, os Cambissolos em relevo forte ondulado e ondulado também foram categorizados na mesma classe, assim como estes solos quando cobertos por matas em relevo montanhoso. Já os Latossolos em relevo suave ondulado ou ondulado cobertos por pastagens degradadas, eucalipto ou agricultura temporária foram categorizados como medianamente vulneráveis.

Ainda conforme a Figura 7A, os locais com Latossolos em relevo ondulado com áreas urbanas ou cobertos por matas, assim como os solos de várzea em relevo plano com pastagens degradadas foram classificados como de vulnerabilidade fraca. Mesma classe observada em solos com B textural e Cambissolos, em relevo forte ondulado, cobertos por matas. Por fim, os locais menos susceptíveis à erosão hídrica, classificados como de vulnerabilidade muito fraca, estão nos Latossolos ou nos solos de várzea em relevo plano ou suave ondulado com área urbana ou com mata.

Na representação proporcional de todos os fatores (Figura 7B), processada conforme a Equação 2, houveram muitas distorções. Nenhum local foi classificado como de vulnerabilidade muito fraca, como esperado em locais com matas em relevo de deposição (PAES *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2013). De maneira geral, os valores tenderam a ficar próximos ou na classe de vulnerabilidade média e a importância relativa ao clima incrementou os valores finais. Por outro lado, algumas áreas com solos rasos, descobertos e em relevo forte ondulado, não foram classificadas como muito vulneráveis.

De acordo com Pinese Junior e Rodrigues (2012) este tipo de modelagem serve para assinalar as áreas que merecem atenção especial e pode ser aplicada somente à etapa de planejamento ambiental, pois não substitui as verificações de campo quando forem tomadas decisões pontuais. Porém, alguns apontamentos quanto à adequação dos usos do solo podem ser feitos. As áreas com Cambissolos ou com relevo montanhoso ou forte ondulado, 33,67% do total, deveriam ser áreas de preservação permanente. Os locais com pastagem precisariam ser manejadas adequadamente, e isto, em relevo ondulado com Latossolos, faria com que mais 19,24% da área passasse a classe de vulnerabilidade baixa. Desta forma, 52,91% da sub-bacia teriam baixa susceptibilidade à erosão hídrica. Outros usos voltados à produção agropecuária poderiam atenuar os impactos deletérios. Os solos com B textural em relevo ondulado poderiam ser utilizados para pastagens adequadamente manejadas ou até para cultivo de café ou povoamentos com eucalipto. Por fim, a agricultura temporária seria recomendada para os ambientes mais estáveis e pode se desenvolver em relevo plano ou em relevos suave ondulado e ondulado sobre Latossolos.

## CONCLUSÕES

A representação do relevo com as classes do sistema brasileiro de classificação de solos foi mais adequada à paisagem estudada que a com os índices de dissecação do relevo.

As ponderações de cada componente ambiental interferiram no resultado final e são recomendadas na aplicação da Análise Empírica da Fragilidade Ambiental. Para tanto, a utilização do AHP foi adequada, pois tornou possível hierarquizar os principais componentes do ambiente que interferem na intensidade da erosão hídrica, diminuiu a subjetividade na ponderação das importâncias relativas e possibilitou avaliar o grau de consistência dos julgamentos.

Na maior parte da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu os usos solo estão inadequados. Deveriam ser implantadas áreas de preservação permanente. Já os locais utilizáveis, precisariam ser manejados adequadamente, principalmente as pastagens, uso mais abundante. A eliminação dos solos expostos e o rearranjo dos locais de produção da

agricultura temporária contribuiriam muito com a atenuação dos impactos ambientais e, desta forma, acabariam com as áreas de vulnerabilidade ambiental muito forte e forte.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, R.; NASCIMENTO, P. S. R.; BATISTA, G. T. Avaliação de técnicas de segmentação e classificação automática de imagens Landsat-TM no mapeamento do uso do solo na Amazônia. *Acta Amazonica*, Manaus, AM. v. 28, n. 1, jan./mar, p. 41-54. 1998.

ANDRADE, A. G.; FREITAS, P. L.; LANDERS, J. Aspectos Gerais Sobre o Manejo e Conservação do Solo e da Água e as Mudanças Ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G.; (Org.) *Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais*. EMBRAPA Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Rio de Janeiro, RJ. 2010. p. 25-40.

AQUINO, R. et al. Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, MG. v. 36, p. 533-542, 2012.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 6ª ed. São Paulo, SP: Ícone, 2008. 355 p.

CREPANI, E. et al. *Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico*. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. 1996. 18p.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Carta Geológica Guaratinguetá*. São Paulo, SP: Superintendência Regional CPRM. 1998. 1 mapa. Escala 1:250.000.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 10, n. 1, p. 175-181. 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, RJ: CNPS - Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2006. 306p.

ESRI. *ArcGIS, ArcGIS online, Spatial Analyst, 3D Analyst*. Versão 10.1. Environmental Systems Research Institute, 2010.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Services. Soil survey staff. *Soil taxonomy: a basic system of a soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2ª ed. Washington: USDA, 1999. 169p. (Agriculture Handbook).

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. et al. *Mapa de solos do estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, MG. 2010. 4 mapas. Escala: 1:650.000.

FREITAS, D. A. F. et al. Modelagem da proteção do solo por plantas de cobertura no sul de Minas Gerais. *Agroambiente*, Boa Vista, RR, v. 6, n. 2, p. 117-123. 2012.

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Carta Topográfica de Santa Rita de Caldas*. Rio de Janeiro, RJ IBGE, 1972a. 1 mapa. Escala 1: 50.000.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Carta Topográfica de Ipuina*. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1972b. 1 mapa. Escala 1: 50.000.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Carta Topográfica de Borda da Mata*. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1972c. 1 mapa. Escala 1: 50.000.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Carta Topográfica de Conceição dos Ouros*. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1971a. 1 mapa. Escala 1: 50.000.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Carta Topográfica de Pouso Alegre*. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1971b. 1 mapa. Escala 1: 50.000.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil: imagem de radar*. São José dos Campos, SP. 2011. Escala 1: 250.000. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acessado em: 06/2012.
- MACHADO, M. F.; SILVA, S. F. *Geodiversidade: Adequabilidade/Potencialidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação*. In: MACHADO, M. F.; SILVA, S. F. (org.). *Geodiversidade do Estado de Minas Gerais*. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral e CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte. 2010.
- MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, Maringá, PR, v. 24, n. 5, p. 1335-1340. 2002.
- MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em mata atlântica nos tabuleiros costeiros do estado do Espírito Santo. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, v. 38, p. 517-526, 2010.
- MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 42, p. 537-545. 2007.
- MIARA, M.A. OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – Um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. *Revista Ra'eGa*. Curitiba, PR: editora UFPR, n. 13, p. 85-98. 2007.
- NEEDELMAN, B. A. What are Soils?. *Nature Education Knowledge*. Cambridge, USA, v. 4, n. 3. 2013.
- NOLASCO-CARVALHO, C. C.; FRANCA-ROCHA, W.; UCHA, J. M. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB. v. 13, n. 1, p.46-55. 2009.
- PAES, F. S. et al. Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí (MG). *Geociências*, São Paulo, SP. v. 29, n. 4. 2010.

PINESE JUNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica –AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). *Revista do Departamento de Geografia – USP*. São Paulo, SP: FFLCH-USP, v. 23. p. 4-26. 2012.

PROCHNOW, D. et al. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG. v. 29, p. 91-98. 2005.

RAFFO, J. G. G. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, São Paulo, SP: FFLCH-USP, volume especial de 30 anos, p. 26-37. 2012.

RESENDE, M. et al. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 4ª ed. Viçosa/MG: NEPUT, 2002. 338p.

ROOSE, E.J. *Application of the universal soil loss equation of Wischmeier and Smith in West Africa*. In: GREENLAND, D.J. & LAL, R. (eds.). *Soil conservation and management in the humid tropics*. Chichester, Jophn Wiley & Sons, 1977. p.177-187.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia - USP*, São Paulo, SP: FFLCH-USP, n. 8. p. 63-74. 1994.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. *Revista do Departamento de Geografia - USP*, São Paulo, SP: FFLCH-USP, volume especial de 30 anos, p. 38-51, 2012.

SÁ, M. A. C. et al. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF. v. 39, n. 7, p. 691-699. jul. 2004.

SAATY, T. L. How to make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, Países Baixos, v. 48, p. 9-26. 1990.

SCOLFORO, J. R. S. Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras, MG, 2009. Disponível em: <[geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/inventarioFlorestal](http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/inventarioFlorestal)>. Acesso em: jun. de 2012.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, Amsterdam, v.57, p. 251-259. 2004.

SILVA, M. A. et al. Sistemas de Informações Geográficas no Planejamento de Uso do Solo. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, PE. v.8, n.2, p.316-323. 2013.

SILVA, M. S. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG. v. 33, p. 1811-1820. 2009.

SILVA, S. R. R.; CHAVES, I. B.; ALVES, J. J. A. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento geoambiental: bacia hidrográfica do Açude Camará – PB. *Mercator*, Fortaleza, CE. v. 9, n. 20, p. 239-352. set./dez. 2010.

SPAROVEK, G.; VAN LIER, Q. J.; DOURADO NETO, D. Computer assisted Koeppen climate classification: a case study for Brazil. *International Journal of Climatology*, Malden, USA, v. 27, p. 257-266. 2007.

TRICARD, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro, RJ: FIBGE/SUPREN, 1977. 99 p.

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat 5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. *Acta Amazonica*, Manaus, AM. v. 34, n.3, p. 487-493, set. 2004.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I – Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG. v. 32, p. 801-814. 2008.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Washington.

XAVIER, F. V.; CUNHA, K. L.; SILVEIRA, A.; SALOMÃO, F. X. T. Análise da suscetibilidade à erosão laminar na bacia do rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando Sistemas de Informações Geográficas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, RS. v.11, n.2. p. 51-60. 2010.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A representação do relevo com as classes do sistema brasileiro de classificação de solos foi mais adequada à paisagem estudada que a com os índices de dissecação do relevo.

As ponderações de cada componente ambiental interferiram no resultado final e foram necessárias na aplicação da Análise Empírica da Fragilidade Ambiental. Para tanto, a utilização do AHP foi adequada, pois tornou possível hierarquizar os principais componentes do ambiente que interferem na intensidade da erosão hídrica, diminuiu a subjetividade na ponderação das importâncias relativas e possibilitou avaliar o grau de consistência dos julgamentos. A aplicação deste método promoveu classificação mais concisa, com maior área nas classes fraca e muito fraca, conforme esperado para locais com vegetação preservada ou com usos a que se atribuem baixas perdas de solo.

Este tipo de modelagem serve para assinalar as áreas que merecem atenção especial em relação à degradação da qualidade ambiental e pode ser aplicada somente na etapa de planejamento ambiental, pois não representa a totalidade da realidade e não substitui as verificações de campo para decisões pontuais.

Na maior parte da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu os usos solo estão inadequados. Deveriam ser implantadas áreas de preservação permanente e, nos locais utilizados, técnicas de manejo adequadas, principalmente nas pastagens, uso mais abundante. Outros rearranjos de áreas produtivas também contribuiriam com a atenuação dos impactos ambientais e, desta forma, eliminariam áreas de vulnerabilidade ambiental muito forte e forte.

Para tanto, alguns apontamentos quanto à adequação dos usos do solo podem ser feitos. As áreas com Cambissolos ou com relevo montanhoso ou forte ondulado, 33,67% do total, deveriam ser áreas de preservação permanente. As áreas de pastagem precisariam ser manejadas adequadamente, isto, em áreas de relevo ondulado com Latossolos, faria com que mais 19,24% passasse a classe de vulnerabilidade baixa. Desta forma, 52,91% da sub-bacia teriam baixa susceptibilidade à erosão hídrica. Outros usos voltados à produção agropecuária poderiam atenuar os impactos deletérios. Os solos com B textural em relevo ondulado poderiam ser utilizados para pastagens adequadamente manejadas ou para cultivo de café ou povoamentos com eucalipto. Por fim, a agricultura temporária seria recomendada para os ambientes mais estáveis e pode se desenvolver em relevo plano ou em relevos suave ondulado e ondulado sobre Latossolos.

## ANEXO I: Procedimentos Operacionais do AHP

Saaty (1990) propôs que o AHP fosse feito como detalhado a seguir, começando com a atribuição de importâncias em relação a uma meta, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Valores para os julgamentos.

Intensidade de Importância	Definição de Importância	Explicação
1	Igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que outro
5	Essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro
7	Demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2,4,6,8	Intermediários entre julgamentos	Possibilidade de compromissos adicionais

Em seguida, estas comparações são feitas por meio da matriz de comparação pareada (Tabela 2).

**Tabela 2:** Exemplo de matriz de comparação pareada.

Temas	Uso	Declividade	Solo	Clima
<b>Uso</b>	1	3	3	6
<b>Declividade</b>	1/3	1	3	3
<b>Solo</b>	1/3	1/3	1	3
<b>Clima</b>	1/6	1/3	1/3	1

Posteriormente, dividindo os elementos de coluna pela soma daquela coluna (normalização) (Tabela 3), e então, somando os elementos em cada linha resultante e dividindo esta soma pelo

número de elementos da linha obtém-se a matriz normalizada (Tabela 4), da qual é possível calcular os vetores de prioridades.

**Tabela 3:** Exemplo de matriz com colunas normalizadas.

<b>Temas</b>	<b>Uso</b>	<b>Declividade</b>	<b>Solo</b>	<b>Clima</b>
<b>Uso</b>	1	3	3	6
<b>Declividade</b>	0,33333	1	3	3
<b>Solo</b>	0,33333	0,33333	1	3
<b>Clima</b>	0,16666	0,33333	0,33333	1
<b>Total</b>	<b>1,83332</b>	<b>4,66666</b>	<b>7,33333</b>	<b>13</b>

**Tabela 4:** Exemplo de matriz normalizada.

<b>Temas</b>	<b>Uso</b>	<b>Declividade</b>	<b>Solo</b>	<b>Clima</b>
<b>Uso</b>	0,54545	0,64285	0,40909	0,46153
<b>Declividade</b>	0,18181	0,21428	0,40909	0,23076
<b>Solo</b>	0,18181	0,07142	0,13636	0,23076
<b>Clima</b>	0,09090	0,07142	0,04545	0,07692

O cálculo dos pesos de cada fator é feito a partir da média dos valores das linhas normalizadas (Tabela 5).

**Tabela 5:** Exemplo de cálculo dos pesos estimados.

<b>Temas</b>	<b>Vetor de Prioridade</b>	<b>Pesos Estimados</b>
<b>Uso</b>	$(0,54545+0,64285+0,40909+0,46153) / 4$	<b>0,5147 (51,47%)</b>
<b>Declividade</b>	Somatório/4	<b>0,2590 (25,9%)</b>
<b>Solo</b>	Somatório/4	<b>0,1551 (15,51%)</b>
<b>Clima</b>	Somatório/4	<b>0,0712 (7,12%)</b>

A partir dos pesos estimados é possível calcular a consistência dos julgamentos. Isto, primeiramente, com o cálculo do auto vetor, feito a partir da multiplicação da matriz pareada com os pesos estimados (Tabela 6).

**Tabela 6:** Exemplo da multiplicação da matriz pareada com os pesos estimados.

1	3	3	6	x	0,5147	=	2,1842
1/3	1	3	3		0,2590		1,1094
1/3	1/3	1	3		0,1551		0,6265
1/6	1/3	1/3	1		0,0712		0,2949

Posteriormente, divide-se o primeiro resultado da multiplicação da matriz pareada com os pesos estimados pelo primeiro vetor prioridade, o segundo resultado da multiplicação da matriz

pareada com os pesos estimados pelo segundo vetor prioridade, e assim por diante. Por fim, o auto vetor é estimado por meio da divisão do somatório do resultado destas divisões pelo número de fatores (Tabela 7).

**Tabela 7:** Exemplo do cálculo do auto vetor.

$$\frac{1}{4} \times \left| \frac{2,1842}{0,5147} + \frac{1,1094}{0,2590} + \frac{0,6265}{0,1551} + \frac{0,2949}{0,0712} \right| = 4,177$$

Por fim, o índice de consistência (IC) é calculado conforme a Equação 1:

$$IC = (\text{auto vetor} - n) / (n - 1) = (4,177 - 4) / (4 - 1) = 0,059 \quad \text{Equação 1}$$

Em que: IC é o índice de consistência; n é o número de fatores.

Saaty (1990) estabeleceu que os julgamentos fossem considerados coerentes quando o resultado do índice de consistência fica entre 0 e 0,1.

**ANEXO II: GEOTECNOGÊNESE E O GEOSSISTEMA: DIAGNÓSTICO DA  
DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM POUSO ALEGRE – MG**

**Artigo submetido à Revista Geografia (Londrina)**

## GEOTECNOGÊNESE E O GEOSSISTEMA: DIAGNÓSTICO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM POUSO ALEGRE – MG

### GEOTECHNOGENESIS AND GEOSYSTEM: DIAGNOSIS OF ENVIRONMENTAL DEGRADATION IN POUSO ALEGRE-MG

**RESUMO:** Derivados da Teoria Geral dos Sistemas e das Ciências da Paisagem, os estudos sobre os geossistemas, sustentados pelo entendimento dos processos de geotecnogênese, são úteis para a pesquisa de paisagens naturais e antropizadas, bem como para o diagnóstico da degradação ambiental. A partir disto, o trabalho caracterizou as modificações promovidas pela geotecnogênese nas unidades geossistêmicas e suas implicações ambientais negativas no Município de Pouso Alegre, no sul do Estado de Minas Gerais. Para tanto, foi adotado o roteiro de pesquisa geográfica: Análise Integral da Paisagem. O crescimento demográfico do município foi de 380,06% pós década de 1960, atingindo 130.615 habitantes em 2010. Nesse período, as unidades geossistêmicas foram alteradas fisiográfica e fisiologicamente, de forma sistemática pelo homem, com consequências na modificação do relevo, na alteração da dinâmica geomorfológica e na formação de depósitos tecnogênicos. Evidências relacionadas à cobertura vegetal, à qualidade das águas e aos depósitos tecnogênicos apontam que a degradação ambiental avançou concomitante com a geotecnogênese. Assim, o homem tornou-se o maior agente interventor nos processos da natureza e o maior indutor da produção de sedimentos nas bacias hidrográficas dos rios Mandu, do Cervo, Sapucaí-Mirim e Sapucaí.

**Palavras-chave:** Geotecnogênese, Geossistemas, Degradação Ambiental, Pouso Alegre.

**ABSTRACT:** *Deriving from the General Theory of Systems and from the Landscape Sciences, studies about geosystems, supported by the understanding of geotechnogenesis processes, are useful tools in the research of natural landscapes and of those occupied by man, as well as in the diagnosis of environmental degradation. From that, this paper was carried out in order to characterize the changes promoted by the geotechnogenesis on geosystemic units and their negative environmental implications in the municipality of Pouso Alegre, south of Minas Gerais state. Therefore, we adopted the geographical research script: Integral Analysis of the Landscape. The population growth of the municipality after 1960 was of 380.06%, reaching 130,615 inhabitants in 2010. During this period, geosystemic units were systematically modified by man, both physiographic and physiologically, with consequences to the relief, geomorphological dynamics and formation of technogenic deposits. Evidences related to vegetation cover, water quality, and technogenic deposits indicate that the environmental degradation has progressed concomitantly with geotechnogenesis. Thus, man has become the greatest agent intervening on natural processes and inducing sediment production in the basins of rivers Mandu, do Cervo, Sapucaí-Mirim and Sapucaí.*

**Key-words:** *Geotechnogenesis, Geosystems, Environmental Degradation, Pouso Alegre – MG.*

## INTRODUÇÃO

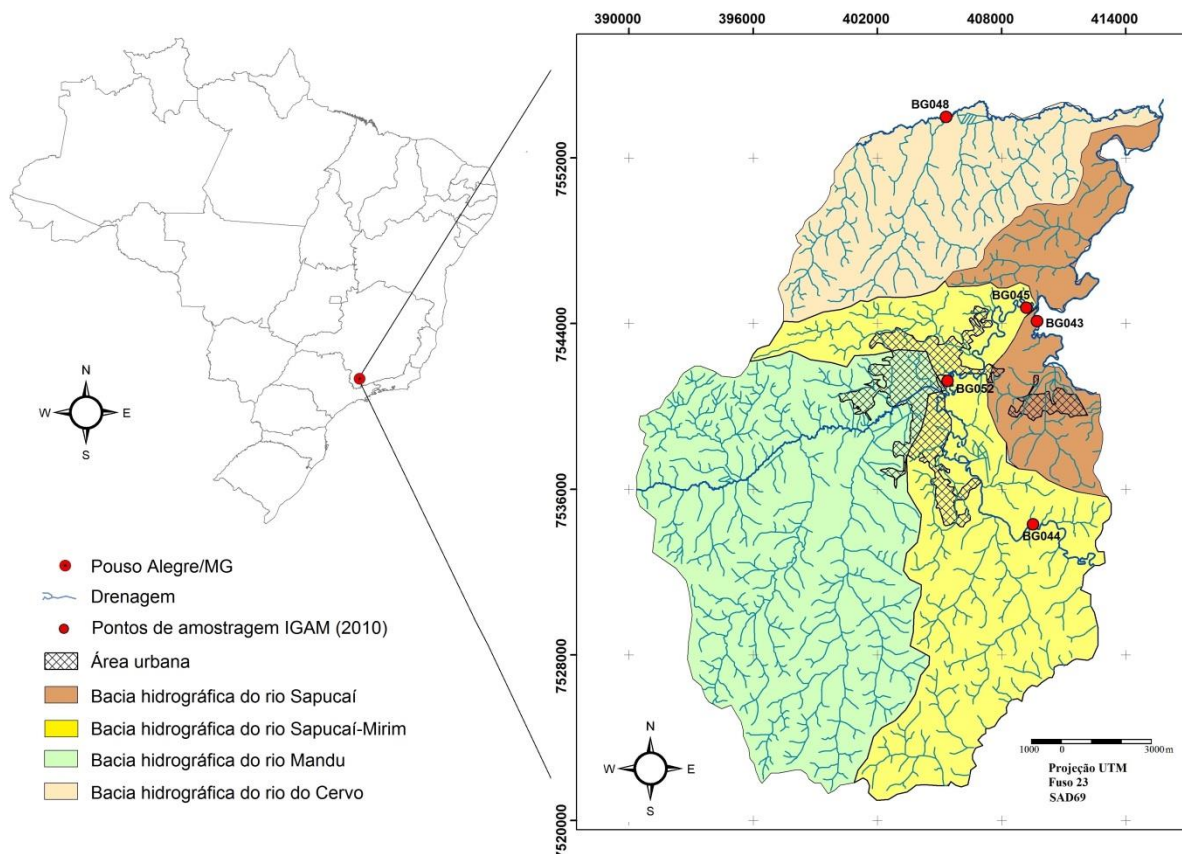
A abordagem geossistêmica, baseada na Teoria Geral dos Sistemas, foi conceituada pelo soviético Sotchava, na década de 60 do século passado, e difundida no ocidente pelo francês Brertrand. Esta conceituação foi um marco para as chamadas Ciências da Paisagem. Geossistema é uma abstração, um conceito, um modelo teórico da paisagem, referente aos componentes e interações do Sistema Terra (RODRIGUES, 2001; SNYTKO e SEMENOV, 2008). Para Coltrinari (2001), as mudanças nos sistemas terrestres são constantes e regidas por leis próprias. Mudanças no clima, no fluxo hidrológico, no nível do mar, entre outras, evidenciam que as modificações são a regra e não a exceção. Porém,

como enfatizado por Peloggia (1997), Primack e Rodrigues (2001), Press *et al.* (2006) e Baird e Cann (2011), entre outros, o quadro natural de biostasia foi rompido sistematicamente pela atividade antrópica, modificando a paisagem, a intensidade dos processos e fluxos energéticos e materiais, e agravando as consequências ambientais e sociais de eventos naturais corriqueiros ou extremos.

Para Peloggia (1997), as intervenções promovidas pelo homem abrangem alterações na fisiografia e na fisiologia da paisagem e possuem, como consequências, a modificação do relevo, a alteração da dinâmica geomorfológica e a criação dos depósitos correlatos. Estes processos são denominados de geotecnogênese (Peloggia, 2005), dos quais derivam, direta ou indiretamente, os depósitos tecnogênicos. Segundo Peloggia (1998), as remoções e deposições de solos e resíduos realizadas diretamente por ações técnicas originam os depósitos tecnogênicos construídos. Ao passo que as alterações nos usos do solo levam à aceleração de processos erosivos e o surgimento de depósitos tecnogênicos induzidos. Para ele, os depósitos tecnogênicos são o testemunho material da atividade humana que, ao se apropriar da natureza com emprego de uma técnica específica do seu nível de desenvolvimento, desencadeia modificações nas paisagens. Com relação à composição, estes depósitos são classificados como úrbicos, constituídos de detritos urbanos e materiais terrosos com artefatos manufaturados; gárbicos, formados de detritos orgânicos; espólicos, com materiais terrosos escavados e redepositados e dragados (Fanning & Fanning, 1989).

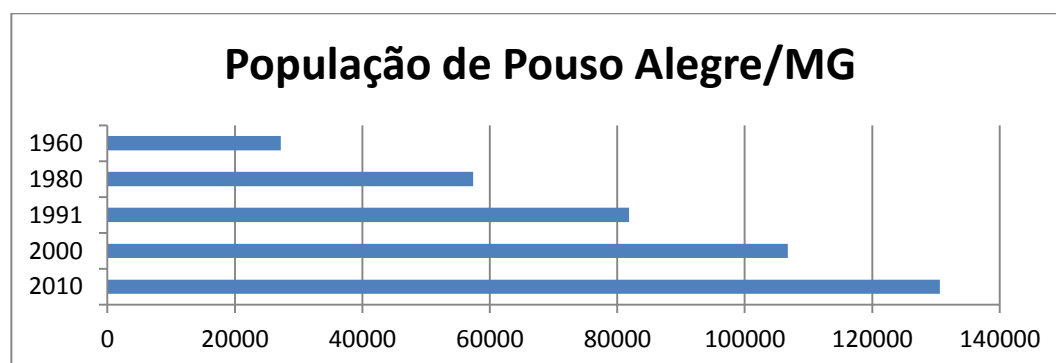
No Brasil, os estudos que consideram o homem agente geológico, com o tema dos depósitos tecnogênicos, foram iniciados na década de 1990. Os principais trabalhos relacionados à temática são de Oliveira (1994), de Peloggia (1997), de Fujimoto (2001; 2005), de Nolasco (2002), além das contribuições teóricas de Peloggia (1996; 1998; 2005), e do estudo dos atributos geotécnicos destes depósitos, de Mirandola (2008).

Em Pouso Alegre (Figura 1), os depósitos tecnogênicos refletem alterações nas características físicas, químicas, biológicas, morfológicas e morfográficas do ambiente, promovidas, em grande parte, a partir do século XX.



**Figura 1:** Mapa de localização do Município de Pouso Alegre em relação às unidades da federação brasileira, das bacias hidrográficas e dos locais de amostragem de água pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2010). **Fonte:** Malhas digitais de unidades da federação; Carta topográfica de Pouso Alegre do IBGE (1971); Mapa de declividade (POUSO ALEGRE, 2008); IGAM (2010).

O município está localizado na mesorregião Sul e Sudeste de Minas Gerais, inserido na sub-bacia hidrográfica do rio Sapucaí, afluente do rio Grande e possui 540 Km<sup>2</sup> de área. De 1960 a 2010, houve um crescimento demográfico de 380,06%, de 27.208 para 130.615 habitantes (MIRANDA *et al.*, 2012; IBGE, 2011), conforme a Figura 2. Com relação à circulação de pessoas, mercadorias e serviços, Pouso Alegre possui localização privilegiada, às margens da rodovia Fernão Dias (BR-381) e quase equidistante das regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas (SP), do Rio de Janeiro (RJ) e de Belo Horizonte (MG), todas num raio menor do que 400 km.





**Figura 2:** Crescimento demográfico do Município de Pouso Alegre/MG, de 1960 a 2010.  
**Fonte:** Censos demográficos do IBGE de 1960, 1980 (*in* Miranda *et al.* 2012), 1991, 2000, 2010 (IBGE, 2011).

A ocupação da área remonta aos desbravadores portugueses e paulistas que procuraram ouro no rio Sapucaí, porém não obtiveram sucesso. Assim, as terras foram utilizadas para agricultura e repouso de comitivas de tropeiros. O local foi elevado à categoria de município em 1848 (IBGE, 2010).

A história da cidade de Pouso Alegre está relacionada à ocupação das planícies dos rios Sapucaí-Mirim e Mandu e adjacências. As planícies eram locais com abundância de água e rica variedade de fauna e flora. Nos períodos de seca, a sinuosidade dos leitos fluviais permitia a manutenção de espessa lâmina d'água. Anualmente, a várzea em frente à cidade formava um reservatório natural de águas das inundações, devido ao represamento do rio Mandu na sua foz no rio Sapucaí-Mirim, alagando residências e plantações e provocando o êxodo dos moradores e da fauna terrestre (GOUVÊA, 2004).

A partir de 1970, a ampliação da área urbana da sede do município transformou a várzea de inundação em bairros populosos com problemas sociais e ambientais. O rio Mandu teve seu leito natural modificado pelos aterramentos e retificação do canal fluvial. No canal original foi construída uma avenida perimetral. Isto aumentou a velocidade da corrente e diminuiu o volume d'água, prejudicando os ecossistemas e a própria ocupação desse local (GOUVÊA, 2004). O lançamento clandestino de esgotos domésticos e industriais também contribuiu para degradar as características naturais do rio.

Diante disso, o entendimento sobre a interação entre os ambientes naturais e as intervenções antrópicas são fundamentais para a compreensão dos processos atuais na paisagem do município e para auxiliar no planejamento ambiental e territorial. Isto poderia promover a ocupação do espaço de forma mais saudável e segura à população, além de preservar os recursos ambientais.

Neste cenário, o trabalho caracterizou as modificações promovidas pela geotecnogênese nas unidades geossistêmicas de Pouso Alegre e avaliou suas implicações e impactos ambientais.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Na pesquisa, foram utilizados dados do Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais (CURI *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2008), de qualidade das águas superficiais (IGAM, 2010) e dos usos do solo, além da caracterização da origem e da composição material dos principais depósitos tecnogênicos. Estes dados foram organizados de acordo com os quatro níveis metodológicos da Análise Integral da Paisagem de Libault

(1971), que compreende os níveis compilatório, correlatório, interpretativo e normativo. No compilatório, foi realizada pesquisa bibliográfica que forneceu as bases teóricas e analíticas e os documentos cartográficos necessários. O nível correlatório compreendeu a elaboração e a correlação dos documentos cartográficos de localização municipal e das bacias hidrográficas, a partir do mapa de unidades da federação brasileira e do mapa de declividade (POUSO ALEGRE, 2008), em escala 1:100.000. Envolveu, ainda, o mapeamento das unidades geossistêmicas pela integração entre o mapa de declividade, a carta geológica de Guaratinguetá (MORAIS, 1998), o mapa de compartimentação morfoestrutural da região de Pouso Alegre (MARUJO *et al.*, 2001) e o mapa pedológico de Minas Gerais (UFV *et al.*, 2010). Tais documentos foram georreferenciados, digitalizados e sobrepostos no aplicativo ArcGIS 10.0. Áreas correlatas espacialmente e em termos de feições foram agrupadas em três polígonos distintos, denominados de Unidades Geossistêmicas (UG): UG1- Unidade das Planícies; UG2- Unidade Morros e Colinas e UG3- Unidade Depressão.

No nível interpretativo, foram identificadas as feições tecnogênicas expressivas na escala de trabalho e os pontos de checagem em campo, a partir da composição colorida das imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat-5, obtidas gratuitamente na Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>), nas bandas TM3 (canal vermelho), TM2 (canal verde) e TM1 (canal azul) de 2010 e do satélite IKONOS, disponíveis no Google Earth. Nos pontos selecionados, foram caracterizadas a gênese, a composição material, o intervalo de espessura dos depósitos tecnogênicos e os atributos ambientais afetados de forma deletéria.

De acordo com a origem, os depósitos tecnogênicos foram subdivididos em construídos e induzidos. Os induzidos foram caracterizados em campo. A origem destas feições foi interpretada a partir do mapa de usos do solo e dos dados de qualidade das águas do IGAM (2010). Para o mapeamento do uso do solo e da cobertura vegetal foi feito o georreferenciamento da composição colorida nas bandas TM4 (canal infravermelho próximo), TM5 (canal infravermelho médio) e TM2 (canal verde) do satélite Landsat-5 TM de 2010, a partir da carta topográfica de Pouso Alegre (IBGE, 1971). A seleção das bandas espectrais utilizadas foi feita de acordo com o comportamento espectral dos diversos usos do solo e cobertura vegetal, dando prioridade a que apresentou maior contraste entre as diversas classes. Assim, foi escolhida a estação seca porque há boa distinção entre áreas agrícolas e pastagens. A classificação visual dos diversos usos e coberturas foi realizada no aplicativo ArcGis 10.0. Os depósitos úrbicos, gárbicos e espólicos construídos foram identificados nas mesmas imagens e, posteriormente, caracterizados no campo e plotados no mapa de quadras da cidade, em escala 1:55.000, da Secretaria de Planejamento da

Prefeitura Municipal de Pouso Alegre. Na sequência, o mapa foi incorporado ao das unidades geossistêmicas, rios e áreas urbanas.

A degradação ambiental foi qualificada a partir dos estudos da geotecnogênese, aliados aos de risco potencial à erosão, de risco ambiental e de qualidade ambiental de Curi *et al.* (2008) e de Carvalho *et al.* (2008).

No nível normativo foram tecidas considerações sobre as consequências das intervenções antrópicas e indicadas áreas com restrições à ocupação no município.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos sobre geossistemas devem considerar aspectos dos sistemas ambientais físicos, incluindo aqueles do clima, da geologia, da geomorfologia, da hidrografia e da pedologia, para execução dos levantamentos e caracterizações setoriais e integradas (CHRISTOFOLETTI, 2007).

O clima controla os processos por fornecer energia para desencadear os fenômenos físicos da superfície terrestre. Em Pouso Alegre, é caracterizado como úmido, com temperaturas mais baixas e umidade mais elevada em relação ao Estado de Minas Gerais. Anualmente, o índice pluviométrico supera 1.700 mm e as temperaturas médias variam de 16,8 a 18° C (CARVALHO *et al.*, 2008).

O arcabouço geológico da região faz parte do sistema orogênico do Tocantins, com predomínio de complexos granito-gnáissicos e de depósitos vulcanossedimentares (HASUI, 2010).

A área compreende unidades geológicas do Arqueano ao Eopaleozóico, com coberturas Cenozóicas. As unidades do Arqueano ao Eopaleozóico são o Domínio Socorro-Guaxupé composto por migmatitos, biotita gnaisses granulíticos, charnoquitos e gnaisses bandados; o Domínio da Faixa do Alto Rio Grande com ortognaisses, granitos, gnaisses migmatizados, quartzitos laminados e a Bacia Molássica formada por metaconglomerados polimíticos. Já, as Coberturas Sedimentares Cenozóicas são constituídas por depósitos aluvionares recentes e coberturas indiferenciadas de material coluvionar (MORAIS, 1998).

Em termos geomorfológicos, o município está no reverso mineiro da Serra da Mantiqueira, no compartimento Domínio dos Degraus Intermediários da Serra da Mantiqueira (SAADI, 1991), que compõe parte de um planalto inclinado em sentido NW, inserido na bacia hidrográfica do alto rio Grande (GD1).

A morfoestrutura da região de Pouso Alegre é compartimentada em três domínios: Planície Aluvionar, Serras Alongadas de Ouro Fino e Depressão de Pouso Alegre. A Planície Aluvionar é formada por depósitos aluvionares recentes dos rios Sapucaí,

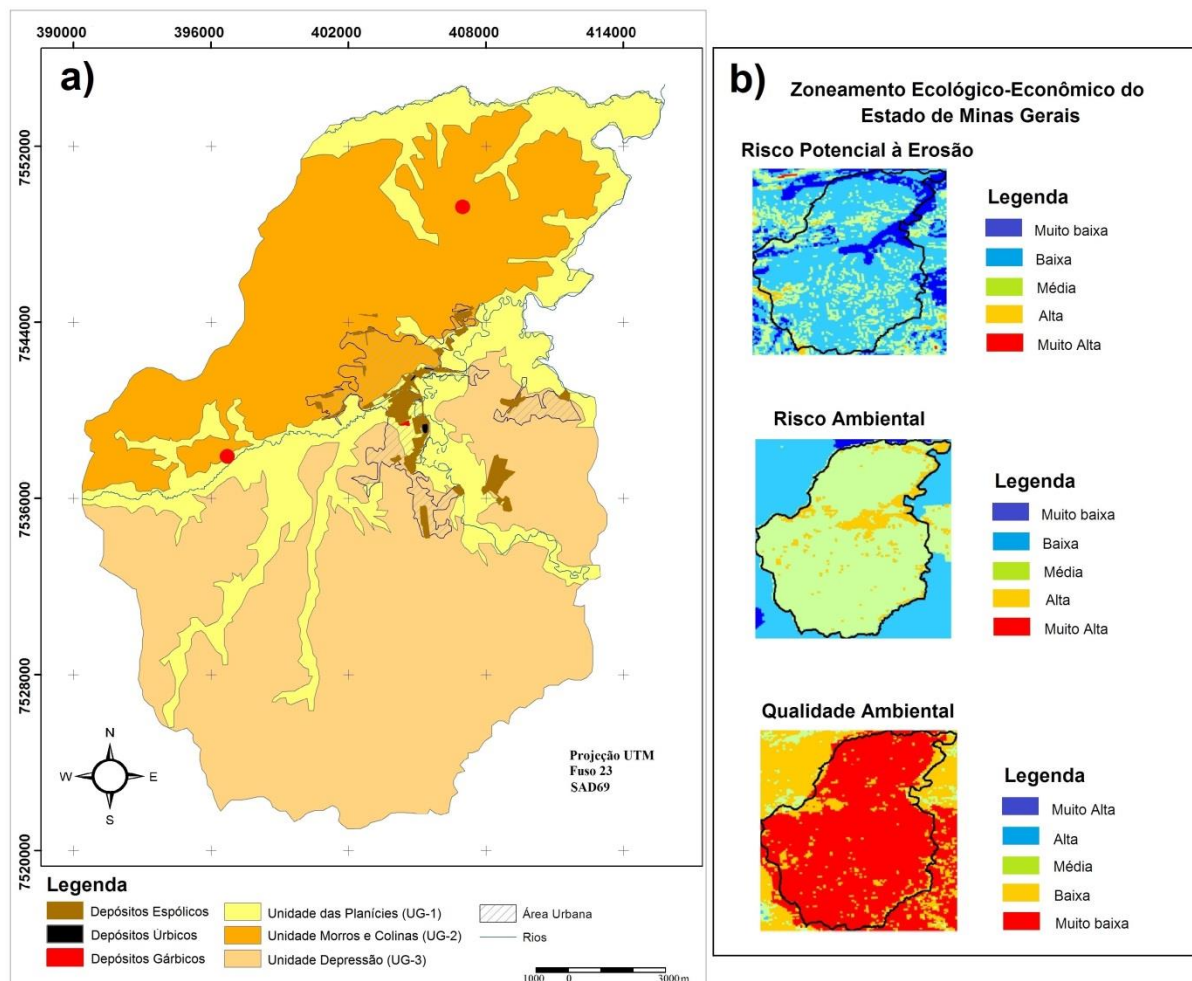
Sapucaí-Mirim, Mandu e do Cervo. O compartimento Serras Alongadas de Ouro Fino é constituído por colinas, morrotes e planícies fluviais que predominam nas áreas deprimidas e por serras alongadas com o *front* voltado para sudeste e o reverso para norte-noroeste. As colinas e morrotes, com altitudes entre 800 e 900 m, são sustentadas por gnaisses e migmatitos. As serras alongadas, com altitudes de 1.000 a 1.300 m, são embasadas por ortognaisses, granitos e quartzitos. Por fim, a Depressão de Pouso Alegre apresenta altitudes entre 800 e 900 m com vales amplos e interflúvios extensos, cujo relevo é de colinas convexas, com a ausência de rupturas de declive, devido às espessas coberturas coluvionares cenozóicas indiferenciadas. As colinas são amplas com topos subnivelados e coberturas argilo-arenosas e areno-argilosas espessas e homogêneas (MARUJO *et al.*, 2001). Associados às colinas amplas ocorrem os Latossolos Vermelhos distróficos; aos relevos mais dissecados, os Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos; e, às planícies dos principais rios, os Neossolos Flúvicos distróficos (UFV *et al.*, 2010).

Correlações entre as feições geológicas, morfoestruturais e pedológicas são apresentadas na Tabela 1. A morfoestrutura é o principal parâmetro do meio físico e permite correlacionar as características materiais resultantes dos processos atuantes. Então, a integração entre os atributos naturais e as feições resultantes dos processos antrópicos permite compreender a paisagem local (Figura 3).

**Tabela 1:** Agrupamento das unidades geológicas, morfoestruturais e pedológicas em unidades geossistêmicas.

<b>Unidade Geossistêmica</b>	<b>Geologia</b>	<b>Morfoestrutura</b>	<b>Pedologia</b>
<b>UG-1: Unidade das Planícies</b>	Depósitos aluvionares recentes	Planície aluvionar	Neossolo Flúvico distrófico
<b>UG-2: Unidade Morros e Colinas</b>	Depósito e vulcanossedimentar; ortognaisses, granitos, quartzitos, gnaisses e migmatitos	Serras Alongadas de Ouro Fino	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico
<b>UG-3: Unidade Depressão</b>	Coberturas cenozóicas indiferenciadas	Depressão de Pouso Alegre	Latossolo Vermelho distrófico

**Fonte:** Adaptado de Morais (1998), Marujo *et al.* (2001) e UFV *et al.* (2010).

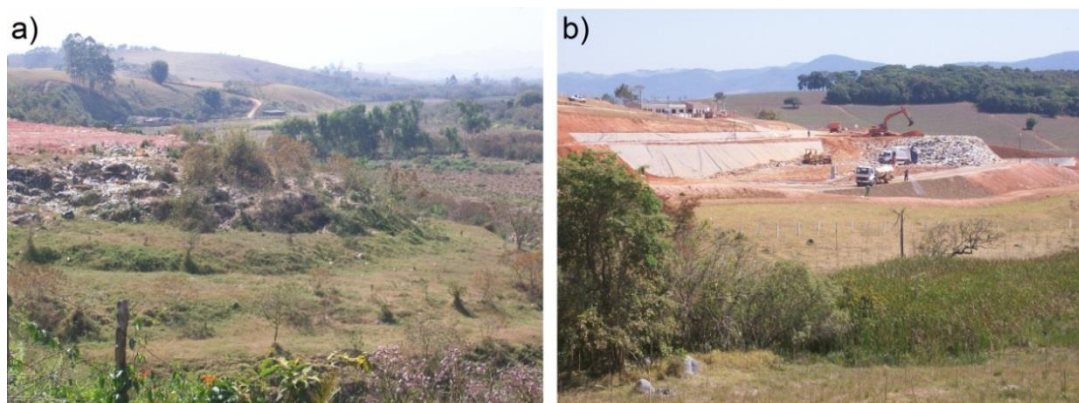


**Figura 3:** Mapa das unidades geossistêmicas e dos depósitos tecnogênicos construídos (a) e de risco potencial à erosão, de risco ambiental e de qualidade ambiental (b) no Município de Pouso Alegre. **Fonte:** Morais (1998); Marujo *et al.*, (2001); UFV *et al.*, (2010); Mapa de declividade (POUSO ALEGRE, 2008).

A ocupação e a intervenção nos geossistemas municipais pelas técnicas humanas produziram efeitos ambientais diretos (Figura 4) e indiretos (Figura 5), que se acumulam em quantidade e se diversificam em qualidade.

As principais modificações identificadas na fisiografia da paisagem são a retificação do canal fluvial do rio Mandu, os sulcos erosivos disseminados nos solos expostos e nas áreas de agricultura e os escorregamentos na forma de rastejos nas pastagens. Isto, além dos cortes de taludes e aterros em obras de infraestrutura, bem como aterros para disposição de resíduos domésticos e industriais e de rejeitos de mineração.

A alteração da cobertura superficial natural interferiu na fisiologia do ambiente, modificando os processos geomórficos, pedogenéticos e sedimentares atuais. De acordo com a SEMAD *et al.* (2009), a cobertura vegetal está preservada em 6,8% do território municipal. Assim, o equilíbrio entre morfogênese e pedogênese foi rompido nos outros 93,2%, onde predominou a esculturação do relevo, devido à intensificação da erosão pela retirada das matas nativas.



**Figura 4:** Fotografias do Aterro Controlado, localizado na área de transição entre a Unidade Morros e Colinas (UG-2), na parte superior à esquerda, e das Planícies (UG-1), na bacia hidrográfica do rio Mandu (a); e do Aterro Sanitário, localizado na Unidade Morros e Colinas, na bacia hidrográfica do rio do Cervo (b). Ambos, depósitos tecnogênicos gárbicos. Coordenadas: (a) 7537.903 N, 396.716 E; (b) 7549.252 N, 406.977 E. Data: 15/05/2011.



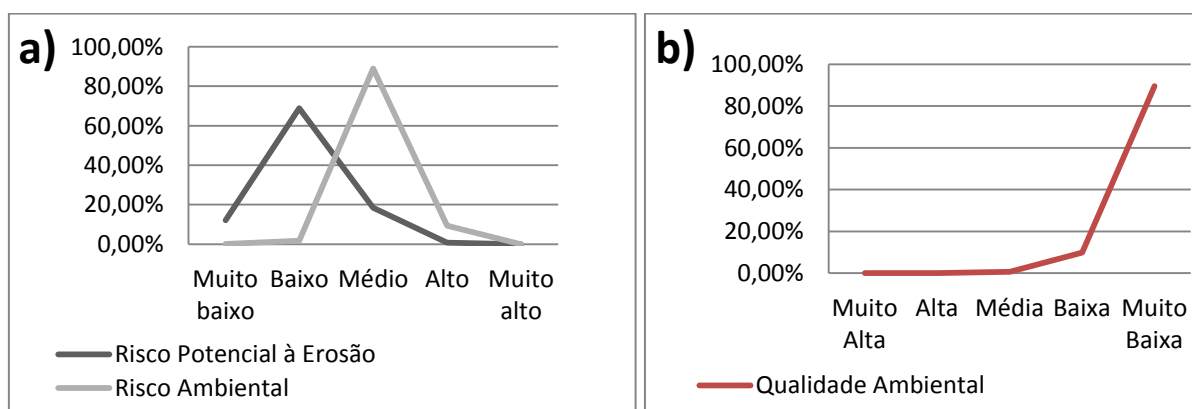
**Figura 5:** Fotografias do canal retificado do rio Mandu e de depósitos tecnogênicos induzidos na Unidade das Planícies (UG-1). Assoreamento da calha fluvial e uma ilha formada de material tecnogênico na área urbana de Pouso Alegre (a). Assoreamento e lançamento direto de esgotos na confluência do rio Mandu com o rio Sapucaí-Mirim (b). Coordenadas: (a) 7540.613 N, 403.955 E; (b) 7539.928 N, 405.040 E. Data: 15/05/2011.

À parte das alterações na vegetação natural, o mapa de Risco Potencial à Erosão indica os locais com solos mais suscetíveis a processos erosivos. Já, os de Risco Ambiental e de Qualidade Ambiental apresentam índices associados às alterações antrópicas na paisagem e ilustram evidências materiais da relação entre as características naturais e as intervenções geotecnogênicas (Figura 3).

O Risco Potencial à Erosão, que relaciona a erodibilidade dos solos ao declive, evidenciou a baixa propensão a processos de degradação natural dos solos, pois predominam as classes “baixa” (68,84%) e “média” (18,44%) (CURI *et al.*, 2008). Porém, quando incorporadas às informações sobre vulnerabilidade natural e intensidade das atividades agropecuárias, industriais e mineradoras de Carvalho *et al.* (2008), que qualificam os riscos potenciais de impactos humanos sobre os ecossistemas, os índices se alteram e a

fragilidade a processos erosivos e contaminações dos solos aumenta. Assim, predominam as classes “média” (88,92%) e “alta” (9,29%), no mapa de Risco Ambiental.

O Índice de Qualidade Ambiental incorpora informações sobre a conservação da vegetação nativa, a produção de sedimentos e a qualidade das águas. Quando somadas, a caracterização da qualidade ambiental evidencia que o ambiente local está degradado, pois as classes predominantes são a “muito baixa” (89,57%) e “baixa” (9,8%) (CARVALHO *et al.*, 2008). Este cenário demonstra que a geotecnogênese foi a causa da degradação, pois, como demonstrado pela Figura 6, à medida que as intervenções antrópicas são incluídas nas avaliações, os riscos à degradação e à vulnerabilidade dos ambientes aumentam e resulta, por fim, numa qualidade ambiental muito baixa na maior parte do município.

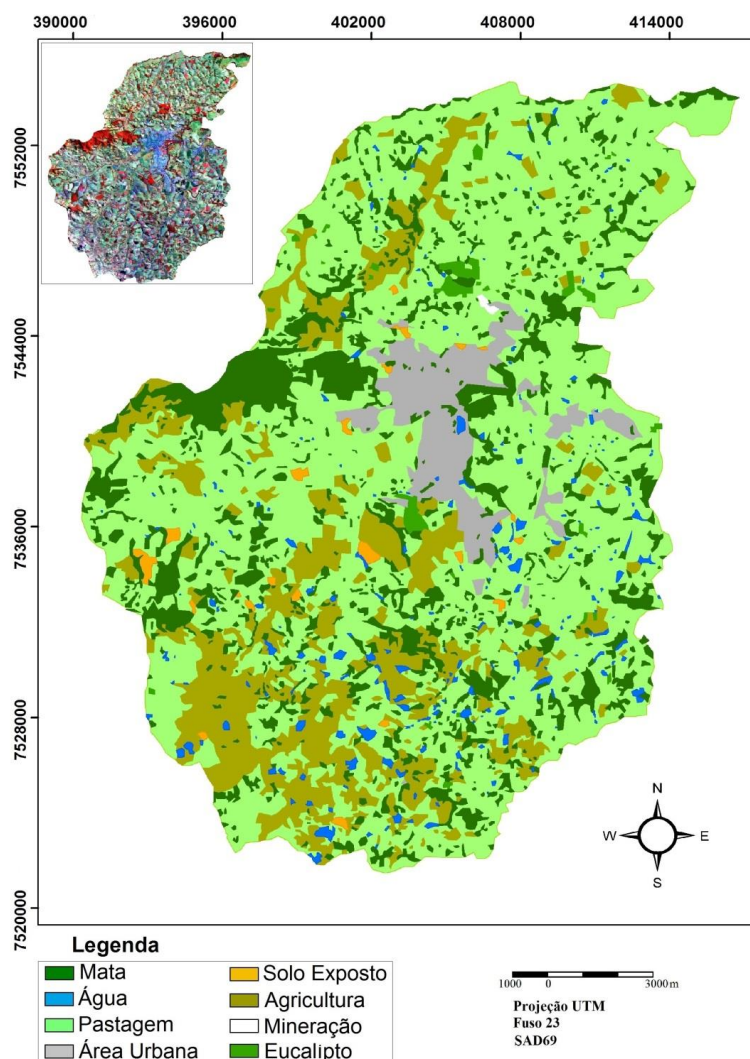


**Figura 6:** Percentual da área municipal com a qualificação do Risco Potencial à Erosão, Risco Ambiental (a) e Qualidade ambiental (b), em Pouso Alegre. **Fonte:** adaptado de Curi *et al.* (2008) e Carvalho *et al.* (2008).

Informações sobre a qualidade das águas superficiais dos principais rios do município, em 2010, também corroboram tal diagnóstico, com vários parâmetros acima dos padrões estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta CPAM/CERH Nº/01/2008, apresentados nos relatórios trimestrais do IGAM (2010). Para tanto, foram considerados os testes físico-químicos e bacteriológicos e os índices de qualidade das águas, de estado trófico, de contaminação por tóxicos, de densidade de cianobactérias e, ainda, ensaios ecotoxicológicos. As fontes prováveis de tais alterações são, especialmente, as atividades antrópicas, como agropecuária, mineração, carga difusa, lançamento de esgotos domésticos e de efluentes industriais, erosão hídrica e expansão urbana. Os locais de coleta das amostras pelo IGAM (2010) são indicados na Figura 1. Apenas no segundo trimestre de 2010, no rio do Cervo (BG048), não foram observadas alterações nos parâmetros avaliados. O rio Sapucaí-Mirim apresentou o maior número de violações, ao longo dos quatro trimestres, com destaque para o primeiro e quarto, principalmente nos pontos BG044 e BG045. De forma geral, os parâmetros alterados em relação aos padrões estão associados ao período chuvoso, devido ao aumento da lixiviação dos materiais antrópicos.

De maneira mais detalhada, houve contaminação por cobre dissolvido, advindo dos efluentes de fábricas de peças automotivas e indústrias têxteis, no primeiro trimestre, no rio Sapucaí-Mirim (BG045). Mais ainda: no primeiro trimestre e no rio Sapucaí-Mirim (BG052) foi caracterizado ambiente hipertrófico, devido ao fósforo total, de esgotos sanitários e de efluentes de abatedouros às margens do rio Mandu. No rio Sapucaí-Mirim (BG044) foram observados, também, efeitos tóxicos nos ensaios ecotoxicológicos do segundo e quarto trimestres de 2010. O rio do Cervo apresentou a melhor qualidade das águas, devido aos menores índices de urbanização associados à bacia hidrográfica (IGAM, 2010).

As fontes prováveis das alterações identificadas demonstram que os usos antrópicos alteraram os ambientes e os padrões de qualidade das águas. A distribuição dos diferentes usos do solo no município, em 2010, é ilustrada na Figura 7.



**Figura 7:** Mapa dos usos do solo no Município de Pouso Alegre/MG em 2010 e composição colorida das bandas TM4, TM5 e TM2 da imagem Landsat-5 TM. **Fonte:** Imagem Landsat-5 TM, órbita 219, ponto 75, de abril de 2010).



As áreas de matas preservadas são de floresta estacional semidecídua. Exceto pela área a noroeste da cidade, estas ocorrem como fragmentos residuais, que não se estendem pela totalidade das áreas determinadas por Brasil (2012) como de preservação permanente, como as margens dos corpos d'água, as nascentes e os locais de elevada declividade. Em 2005, 6,89% do território municipal eram cobertos por matas, já em 2007 estas áreas somavam 6,8%, porcentagem que se manteve até 2009 (SEMAD *et al.*, 2009). A estabilização da porcentagem de cobertura vegetal pode ser atribuída à aprovação do plano diretor municipal em 2008, que criou o parque municipal e a reserva de várzea (POUSO ALEGRE, 2008).

A variação na cobertura vegetal foi percentualmente pequena entre 2005 e 2009, porém as alterações antrópicas se estendem por quase todo o território. Concordando com Townsend *et al.* (2006), as porcentagens de alterações na biota vão além da área total de cobertura vegetal removida, pois existem, também, outras implicações negativas nos fragmentos florestais, como efeitos de borda e de dificuldade de dispersão de espécies.

No município, em 2010, as áreas em que foi removida a vegetação eram utilizadas para agricultura, urbanização, mineração, pastagens e povoamentos com eucaliptos ou, ainda, para pequenos represamentos de água ou eram áreas de solos expostos.

A atividade agrícola inclui hortaliças e plantas frutíferas, sendo a produção diversificada, com exceção do morango, dominante na parte sul do município. A pastagem é a principal forma de intervenção e responsável pela remoção quase total da vegetação nativa. Localmente, ocorre vegetação em diferentes estágios sucessionais, devido ao abandono das pastagens. Os solos expostos estão relacionados à agricultura e a expansão urbana. Em apenas algumas áreas rurais são adotadas práticas conservacionistas de caráter edáfico, mecânico e vegetativo de manejo dos solos sugeridas por Lepsch (2011). Todavia, os quatro princípios da conservação de caráter edáfico não foram identificados, pela ausência ou insuficiência de planejamento quanto às queimadas, à adubação e à rotação de culturas. Nos cultivos de morango, os canais construídos para evitar a erosão são práticas de caráter mecânico, que não são comuns nos demais usos rurais. Já, o povoamento de eucalipto é a principal prática de caráter vegetativo, de expansão da cobertura vegetal.

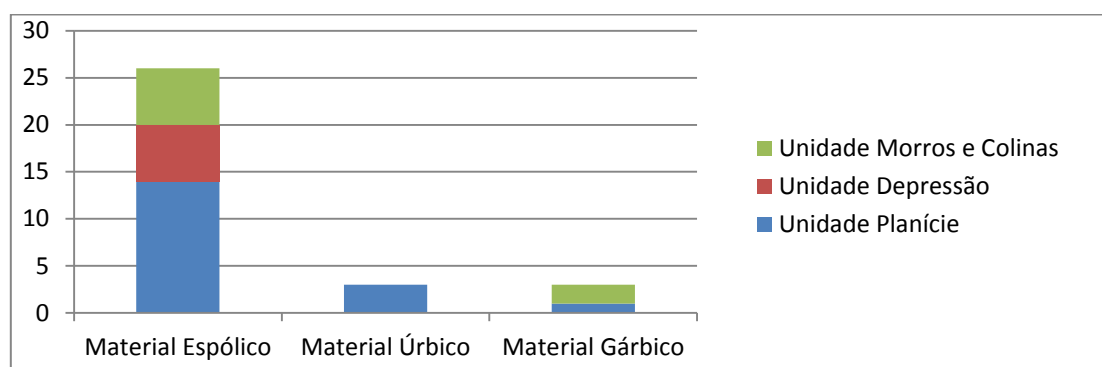
A mineração de granito e gnaiss e o depósito tecnogênico espólio relacionado ocorrem fora do perímetro urbano. Nas áreas de lavra e nas adjacências, as interferências antrópicas se dão pelo decapeamento e redeposição dos solos em pilhas de rejeito e pela exposição dos solos.

A Figura 8 ilustra a quantidade, a classificação e a distribuição dos depósitos tecnogênicos construídos em relação às unidades geossistêmicas. O maior número de

depósitos tecnogênicos caracterizados foram os espólicos, relacionados, principalmente, às obras de infraestrutura com escavações e redeposição de materiais terrosos. A espessura dos pacotes tecnogênicos varia de 1,5 m, no bairro Recanto das Andorinhas, a 10 m no antigo canal fluvial do rio Mandu. Numericamente, 53,92% dessas feições foram encontradas na Unidade das Planícies (UG-1), 23,04% na Unidade Morros e Colinas (UG-2) e 23,04% na Unidade Depressão (UG-3).

No município foram identificados três depósitos gárbicos. Dois destes, o aterro controlado e o aterro sanitário fora do perímetro urbano (Figura 3). Na área urbana está o primeiro “lixão” da cidade, a sul do rio Mandu. Tais depósitos variam entre 3 m no aterro controlado e 5 m no aterro sanitário. Em termos geossistêmicos, dois destes depósitos estão na Unidade Morros e Colinas (UG-2) e um na Unidade das Planícies (UG-1).

Os três depósitos úrbicos identificados foram formados pela disposição clandestina de detritos da construção civil e pelo descarte de objetos manufaturados diversos, como eletrodomésticos, móveis, embalagens plásticas e artefatos metálicos. A espessura varia de 1,5 a 3 m e todos estão localizados na Unidade das Planícies (UG-1).



**Figura 8:** Número total de depósitos tecnogênicos construídos: classificação quanto à composição material e distribuição em relação às unidades geossistêmicas. Não foram identificados depósitos dragados.

Quanto às restrições à ocupação, os locais com depósitos espólicos exigem monitoramento das condições geotécnicas relativas à compactação e umidade do material. De forma semelhante, a ocupação dos locais com depósitos úrbicos deve ser feita considerando os atributos geotécnicos, pois em geral apresentam baixa estabilidade. Já, os locais com depósitos gárbicos exigem monitoramento contínuo e cuidados mais específicos, devido aos riscos aos ecossistemas e à saúde da população, oriundos da contaminação das águas superficiais e subterrâneas, da subsidência dos terrenos e da geração de gases tóxicos e inflamáveis pela decomposição anaeróbica do material orgânico (PELOGGIA, 1998).

Independentemente das restrições à ocupação, os depósitos correlatos às alterações fisiográficas e fisiológicas deram uma nova configuração geomorfológica à paisagem, atualmente modelada pela geotecnogênese. As alterações nos processos erosivos e hidrossedimentológicos correlatos afetaram negativamente a qualidade dos solos, das águas e as funções dos ecossistemas nas respectivas bacias hidrográficas.

Em paralelo, a diminuição da interceptação da água pela vegetação e a impermeabilização dos solos na área urbana, diminuíram a retenção de água nos geossistemas, o que agrava os problemas das inundações nos períodos chuvosos e da falta d'água nas estações secas.

Na bacia hidrográfica do rio Sapucaí-Mirim, em que está inserida a do rio Mandu, as inundações e os consequentes prejuízos são históricos e periódicos. Para Amaral e Ribeiro (2009), a probabilidade de ocorrência destes fenômenos é condicionada por fatores antrópicos e naturais. Esta bacia apresenta propensão natural à ocorrência destes processos, que são intensificados pelo uso e ocupação irregular das planícies e margens dos cursos d'água, pela disposição irregular de resíduos, pela alteração nas características das bacias e dos canais fluviais e pela erosão acelerada e assoreamento.

## **CONCLUSÃO**

Em Pouso Alegre, a geotecnogênese ocorreu pela remoção da cobertura vegetal natural, pelo manejo do solo urbano e rural e pelo aterramento dos corpos d'água. A ação antrópica causou danos significativos aos ambientes aquáticos e terrestres. Tais alterações degradaram as matas nativas, a qualidade das águas superficiais e dos solos e aumentaram a intensidade da deposição aluvionar e, consequentemente, das inundações.

A dinâmica natural, no município, foi substituída por processos controlados simultaneamente pela natureza e pelo homem, com os decorrentes depósitos construídos ou induzidos pela atividade humana. Nas calhas fluviais dos rios principais a aluviação holocênica foi substituída pelos aterramentos e modificada pelos assoreamentos.

A atuação humana nos processos superficiais ocorreu de forma heterogênea nas unidades geossistêmicas. A unidade mais afetada foi a das Planícies, pelo incremento da carga de sedimentos provenientes das demais unidades e pela implantação de infraestruturas para adequação da área à ocupação.

O planejamento ambiental e territorial do município exige o atendimento à legislação em suas diversas instâncias, não permitindo usos antrópicos nas Áreas de Preservação Permanente e destinando as já degradadas à recuperação ambiental. É necessário expandir as práticas conservacionistas de manejo do solo, nos locais de

pastagens e de agricultura, bem como utilizar estes espaços de forma mais racional, com base em estudos sobre as fragilidades e potencialidades desses ambientes. Os locais onde foram instalados depósitos gárbicos não devem ser ocupados, devido aos problemas potenciais à segurança e à saúde humana. Já a ocupação nos locais de depósitos úrbicos deve ser restringida em razão do baixo suporte geotécnico. Diante disso, para não agravar o quadro de degradação ambiental é necessário o tratamento da totalidade dos efluentes domésticos e industriais.

### Referências Bibliográficas

AMARAL, Rosângela; RIBEIRO, Rogério Rodrigues. Inundações e enchentes. Capítulo 3. *In: TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela (org.). Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico. 2009.

BAIRD, Colin; CANN, Michael C. **Química Ambiental**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BRASIL. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Novo Código Florestal, Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 de mai. 2012.

CARVALHO, Luis Marcelo Tavares de; MARQUES, João José Granate; LUZADA, Júlio Neil; MELLO, Carlos Rogério; OLIVEIRA, Antonio Donizette; SCOLFORO, José Roberto; CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro; COELHO, Gilberto. Qualidade Ambiental, Risco Ambiental e Prioridades para Conservação e Recuperação. Capítulo 2. pag 21-72 *In: SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; UFLA – Universidade Federal de Lavras. Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais*. 2008. URL: <http://www.zee.mg.gov.br/>.

CARVALHO, Luiz Gonsaga de; OLIVEIRA, Marcelo Silva; ALVES, Marcelo de Carvalho; VIANELLO, Rubens Leite; SEDIYAMA, Gilberto C.; CASTRO NETO, Pedro; DANTAS, Antonio Augusto Aguiar. Clima. Capítulo 4. pag 89-102. *In: SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; UFLA – Universidade Federal de Lavras. Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais*. 2008. URL: <http://www.zee.mg.gov.br/>.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. Cap.11, pag. 415-437. *In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 7ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

COLTRINARI, Lylian. Mudanças ambientais globais e geoindicadores. *In: Pesquisa em Geociências*. Porto Alegre. v. 28, n.2, p. 307-314. jun.-dez. 2001.

CURI, Nilton; MARQUES, João José Granate; MARQUES, Antônio Francisco Sá e Melo; FERNANDES, Elpídio Inácio. Solos, Geologia, Relevo e Mineração. Capítulo 3. pag 73-88. *In: SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; UFLA*

– Universidade Federal de Lavras. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**. 2008. URL: <http://www.zee.mg.gov.br/>.

FANNING, Delvin Seymour.; FANNING, Mary Christine Balluff. **Soil: Morphology, genesis and classification**. New York: John Wiley, 1989.

FUGIMOTO, Nina Simone V. Moura. **Análise ambiental urbana na área metropolitana de Porto Alegre RS**: sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio. 2001. 235 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FUGIMOTO, Nina Simone V. Moura. Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana. *In: Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo. v.16, . p. 76-80. 2005.

GOUVÊA, Octávio Miranda. **A História de Pouso Alegre**. 2ª Ed. Pouso Alegre, Gráfica Amaral. 2004.

HASUI, Yociteru. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. *In: Geociências*. São Paulo, UNESP, v. 29, n.2, p.141-169. 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Evolução Populacional – Pouso Alegre, MG**. Rio de Janeiro, 2011. URL: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=315250#>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pouso Alegre-MG, Histórico**. URL: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta Topográfica de Pouso Alegre (SF-23-Y-B-II-1). Rio de Janeiro: IBGE, 1971. 1 mapa. color., Escala 1:50.000.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais**. Relatórios do 1º, 2º, 3º e 4º trimestre de 2010.

LEPSCH, Igo F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIBAULT, C.O. André. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. *In: Métodos em Questão*. Instituto de Geografia-USP, São Paulo. n.1., 1971, 14p.

MARUJO, Marta Felícia; HASUI, Yociteru; BORGES, Maurício; PIRES NETO, Antônio Gonçalves. Geomorfologia e feições morfotectônicas do alto vale do Sapucaí - sudeste do Brasil. **Anais... EGAL: Encuentro de Geografos de America Latina. Universidad de Chile**. Santiago. v. único. 2001. 1 CD-ROM.

MIRANDA, Lays Horta; MORATO, Rúbia Gomes; KAWAKUBO, Fernando Shinji. Mapeamento da qualidade de vida urbana em Pouso Alegre, sul de Minas Gerais. *In: Revista do Departamento de Geografia – USP*. v.24, p.24-36. 2012.

MIRANDOLA, Fabrício Araújo. **Carta de risco de escorregamento em ambiente tecnogênico**: o caso da favela Real Parque, São Paulo. 2008. 214 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT, São Paulo.

MORAIS, Silvia Maria (coord.). **Carta Geológica Guaratinguetá** (Folha SF.23-Y-B). São Paulo: Superintendência Regional da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1998. 1 mapa. color., Escala: 1:250.000.

NOLASCO, Marjorie Cseko. **Registros geológicos gerados pelo garimpo, Lavras Diamantinas – BA**. 2002. 316 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR**. 1994. 221 f. 1994. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens. A ação do homem enquanto ponto fundamental da geologia do Tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do caso do município de São Paulo. *In: Revista Brasileira de Geociências*. v. 27, n. 3, set. 1997.

PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. *In: Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo. n.16, p. 24-31. 2005.

PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens. **Delineação e aprofundamento temático da geologia do Tecnógeno do município de São Paulo**: as consequências da ação do homem sobre a natureza e as determinações geológicas da ação humana em suas particularidades referentes à precária ocupação urbana. 1996. 262 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens. **O Homem e o Ambiente Geológico**: geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo. São Paulo, Xamã. 1998.

POUSO ALEGRE. Plano Diretor Municipal de Pouso Alegre. **Secretaria de Planejamento de Pouso Alegre**. 2008.

PRESS, Frank.; SIEVER, Raymond.; GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas H. **Para Entender a Terra**. 4ª Ed. Porto Alegre, Bookman, 2006.

PRIMACK, Richard B.; RODRIGUES, Efraim. *Biologia da Conservação*. Londrina: Efraim Rodrigues, 2001.

RODRIGUES, Cleide. A teoria geossistêmica e suas contribuições aos estudos geográficos e ambientais. *In: Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo. n.14, p. 69-77. 2001.

SAADI, Allaoua. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. Belo Horizonte, IGC/UFMG. Tese de Professor Titular. 1991.

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; IEF – Instituto Estadual de Florestas; UFLA – Universidade Federal de Lavras; SCOLFORO, José Roberto Soares (Coord.). **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. 2009. URL: [geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/inventarioFlorestal](http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/inventarioFlorestal).

SNYTKO, Valerian A.; SEMENOV, Yurii M. The Study of Geosystem Structure, Development and Functioning in Siberia. **Methodology of Landscape Research: Dissertations Commission of Cultural Landscape**. n. 9, p.141-150. 2008.

TOWNSEND, Colin R.; BEGON, Michael; HARPER, John Lander. **Fundamentos em ecologia**. 2ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 592p.

UFV - Universidade Federal de Viçosa; CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; UFLA - Universidade Federal de Lavras; FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. Folha 3. 2010.4 mapas. color., Escala: 1:650.000.

## Comprovante de submissão de artigo:

---

● **Márcia Siqueira de Carvalho**

25 Jun 2013 ★

Para Eu

---

André dos Santos Ribeiro,

Agradecemos a submissão do trabalho "GEOTECNOGÊNESE E O GEOSSISTEMA: DIAGNÓSTICO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM POUSO ALEGRE - MG" para a revista GEOGRAFIA (Londrina).

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão:

<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/author/submission/15280>

Login: asr

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Márcia Siqueira de Carvalho  
GEOGRAFIA (Londrina)

---