



Revista Brasileira de Cartografia (2010) N° 63/4, p. 477-488
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

FRAGILIDADE AMBIENTAL ASSOCIADA AO RISCO POTENCIAL DE EROÇÃO DE UMA ÁREA DA REGIÃO GEOECONÔMICA MÉDIO MOGI GUAÇU SUPERIOR (SP)

Environmental Fragility Associated with Potential Risk of Erosion in the Geoeconomic Region in Mogi Guaçu (SP)

**Ângela Terumi Fushita¹, Lívia Haik Guedes Camargo-Bortolin¹,
Eurípedes Maximiano Arantes², Marco Antônio Albano Moreira³,
Cláudio Jorge Cançado⁴ & Reinaldo Lorandi³**

¹Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
Rodovia Washington Luis, km. 235 – 13565-905 – São Carlos – SP.
angela_fushita@yahoo.com.br, li.bortolin@gmail.com

²Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
Campus Universitário de Cáceres - Departamento de Ciências Agronômicas
Av. Tancredo Neves, 1095 – Cavahada 2 - 78200-000 – Cáceres – M.T.
emarantes@ibest.com.br

³Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR
Departamento de Engenharia Civil - Laboratório de Geociências
Rodovia Washington Luis, km. 235 – 13565-905 – São Carlos – SP.
fmarco@power.ufscar.br, lorandi@power.ufscar.br

⁴Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC
Setor de Recursos da Terra - SAT
Avenida José Cândido da Silveira, 2000 – 31170-000 – Belo Horizonte – MG.
claudio.cancado@cetec.br

Recebido em 10 de Novembro de 2010/ Aceito em 05 de Junho de 2010
Received on November 10, 2010/ Accepted on June 05, 2010

RESUMO

O trabalho objetivou determinar a fragilidade ambiental de um segmento de área da Região Geoeconômica Médio Mogi (SP), utilizando-se a técnica de avaliação por múltiplos critérios, presente no SIG Idrisi 32®. No mapa de fragilidade ambiental gerado na escala 1:50.000 predominou as áreas classificadas como de baixo e médio risco à erosão. A classe de fragilidade muito baixa reflete uso conservacionista do solo, porém com pouca influência devido a sua área reduzida. Houve maior influência do material geológico representado pela Formação Serra Geral, das unidades de mapeamento com Latossolos Vermelhos, das áreas com várias fisionomias de cerrado, mata e pastagem. As áreas com vegetação natural são restritas e esparsas, de modo que a ocorrência do Latossolos Vermelhos foi o fator determinante na contribuição percentual da classe de fragilidade muito baixa. A classe de fragilidade muito alta apresentou baixa participação espacial, sendo influenciada pela ocorrência de declividades com maior grau de influência nos processos erosivos, por

planícies aluviais, pelas unidades de mapeamento Neossolos e pela existência de solos expostos, área urbana e mineração. As formas de uso e ocupação que condicionariam alta fragilidade ambiental potencial tiveram suas influências minimizadas pela ocorrência de fatores como declividades com menor grau de influência nos processos erosivos, solos permeáveis e formas de relevo suavizadas, resultando na classe de média fragilidade ambiental.

Palavras chaves: Solos Tropicais, Fragilidade Ambiental, Geoprocessamento, Erosão, Uso e Ocupação do Solo.

ABSTRACT

The purpose of this work was to determine the environmental fragility of a segment of the Geoeconomic Region of the Middle Mogi (SP) using the multiple-criteria evaluation technique provided in the GIS Idrisi 32®. The environmental fragility map generated on a scale of 1:50,000 showed a predominance of areas classified as having a low to medium risk of erosion. The very low fragility class reflects a conservationist land use, albeit of little influence due to the small area involved. The strongest influence comes from the geological material represented by the Serra Geral Formation, the mapping units with Red Latosol, and the areas with physiognomies of cerrado, forest and pastureland. The areas containing natural vegetation are restricted and sparse, so the occurrence of Red Latosol is the determining factor in the percentile contribution of the very low fragility class. The very high fragility class presents a low spatial share, influenced by the occurrence of declivities with a higher degree of influence on erosive processes, alluvial plains, Neosol mapping units and by the existence of exposed soils, urban areas and mining. The influence of forms of land use and occupation that would condition a potentially high environmental fragility is minimized by the occurrence of factors such as declivities with a lower degree of influence on erosive processes, permeable soils and mild relief shapes, resulting in a classification of medium environmental fragility.

Keywords: Tropical Soils, Environmental Fragility, Geoprocessing, Erosion, Land Use and Occupation.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas provoca o avanço da exploração dos recursos naturais.

A partir da última década do século XX, a questão ambiental assumiu grande importância no contexto nacional e internacional, com o envolvimento direto das instituições de pesquisa e da sociedade em geral.

Os problemas ambientais no Brasil estão relacionados ao complexo quadro de crise geral e à falta de políticas públicas adequadas quanto ao planejamento da utilização racional dos recursos naturais. Isso tem gerado uma utilização inadequada dos recursos naturais e, na maioria das vezes, há perdas irreversíveis (BASTOS et al., 2006).

A deterioração física é uma realidade constante nas bacias hidrográficas do Brasil. Naturalmente essas áreas estariam em condições de equilíbrio, mas a intervenção humana causa alterações, que resultam em processos não usuais no sistema, ou seja, os impactos ambientais. Como consequência desta deterioração acelerada, ocorrem erosões, enchentes, escorregamentos e outros desastres ambientais (BASTOS et al., 2006). A erosão e a sedimentação ocorrem,

principalmente, quando o homem modifica a paisagem através da agricultura, obras de engenharia ou operações de remanejamento da terra (NAKASHIMA, 2001). O manejo inadequado do solo pelo uso de maquinarias pesadas tem causando a sua compactação, dificultando a penetração das raízes das plantas e a infiltração das águas das chuvas, que escoam carregadas de partículas para os corpos d'água, causando danos erosivos e assoreamento, interferindo na qualidade dos cursos fluviais (ROSS, 1994).

Assim, torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico territorial com enfoque sócio-econômico e ambiental, levando-se em consideração as potencialidades e, principalmente, a fragilidade das áreas face às intervenções antrópicas (DONHA et al., 2006). O reconhecimento das formas de utilização da terra é fundamental para o planejamento, pois direciona uma política de ocupação do espaço que visa manter e melhorar as condições de vida atual e futura (FIGUEIREDO et al., 2006).

Estudos relacionados à sensibilidade ambiental, cuja visão central aponta para os aspectos de vulnerabilidade ou estabilidade das áreas, são importantes principalmente quando se trata de desenvolvimento sustentável e qualidade ambiental.

O termo sensibilidade corresponde à propriedade de reação dos sistemas ambientais, alterando ou mantendo o seu estado de qualidade, quando perturbados. Nesses estudos, duas importantes condições são consideradas: a primeira, com ênfase na vulnerabilidade dos solos, visa à identificação dos níveis de fragilidade de sistemas/agroecossistemas, propiciando assim o mapeamento de zonas com elevados riscos ambientais, enquanto que a segunda, voltada à estabilidade, fornece informações referentes à capacidade desses sistemas resistirem à mudanças ou manterem seu estado estável, possibilitando o planejamento de uso em bases mais sustentáveis (NAKASHIMA, 2001).

A carta de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente combinando suas características naturais com suas restrições (FIGUEIREDO et al., 2006).

A carta de fragilidade ambiental é de grande importância para o entendimento da fragilidade do meio físico, face à intervenção das atividades humanas. Ao mesmo tempo, sinaliza para a necessidade de se praticar o planejamento ambiental, sendo um documento cartográfico de síntese que resulta da análise integrada do relevo solo e dos graus de proteção conferidos pelo uso da terra-vegetação (NAKASHIMA, 2001).

As etapas intermediárias para a elaboração do mapa síntese seguem as construções das cartas de declividade ou padrões de formas do relevo, de solo e de uso e cobertura vegetal. As informações de geologia e clima são utilizadas em conjunto com as demais cartas como informações adicionais, podendo ser incorporadas na análise síntese. O mapeamento das fragilidades agrupa os ambientes em relação aos diferentes níveis de fragilidade. Tais informações permitem ao planejador elaborar ações de intervenção técnica, adequadas a cada condição (ROSS, 1994).

De acordo com Ross (1994), o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria dos Sistemas que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Os sistemas ambientais, face às intervenções humanas, apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características de formação. Sendo assim, qualquer alteração nos

diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) compromete a funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico e gera estados de desequilíbrio temporário ou até permanente. Estas variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais (SPÖRL & ROSS, 2004). Considerando os diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o ambiente está submetido, Ross (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5).

Os estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de extrema importância ao planejamento ambiental. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (SPÖRL & ROSS, 2004).

Sabe-se que a região centro-leste do Estado de São Paulo apresenta risco ambiental potencial devido à alta intervenção antrópica. Estão presentes atividades tais como mineração, suinocultura e avicultura, além de áreas intensamente manejadas e com culturas anuais altamente mecanizadas (cana-de-açúcar). Além disso, o risco de contaminação das águas subterrâneas por agrotóxicos aumenta com a presença de culturas de cana-de-açúcar e de citrus.

Para Cereda Junior (2006), nos processos de planejamento urbano e regional, a dimensão ambiental não é considerada em muitos casos. Tal fato tem ocasionado diversos problemas, uma vez que deve ser buscada a compreensão do processo global, bem como das interconexões entre os elementos e o caráter dinâmico da paisagem. Em função disso, elaborou, bem como discutiu metodologicamente, as Cartas de Fragilidade Potencial e Ambiental da Bacia do Ribeirão do Monjolinho, em São Carlos – SP, baseado na metodologia sistêmica cartográfica, metodologia esta fundamentada na ecodinâmica, utilizando-se de um Sistema de Informações Geográficas. Chegou a resultados coerentes com a realidade local e conclui sugerindo que os futuros trabalhos pautados nessa metodologia estejam não mais inseridos no

Paradigma Booleano, mas sim no Paradigma Fuzzy, utilizando análise multicritério, sistemas especialistas, mapas auto-organizáveis, enfim, inteligência artificial para Análise Ambiental, melhorando qualitativa e quantitativamente as avaliações do meio físico, no que tange à interpretação e geração de produtos cartográficos para o entendimento e tomada de decisão.

Eastman (1998; 2003) demonstra que ao se mudar do Paradigma Booleano para o Paradigma Fuzzy, é evitar as decisões rígidas do apto ou inapto (sim e/ou não) e usar um conceito relativo para definir dados contínuos, retendo a variabilidade dos dados e possibilitar a compensação de um fator por outro. Dessa forma, o método *fuzzy* é mais complexo que o booleano e no caso da análise multicritério ao utilizar rotinas de padronização e regras de decisão deve considerar e estabelecer criteriosamente a função e os extremos de cada fator. Nessa vertente, a utilização da técnica *fuzzy* pode reduzir drasticamente a propagação de erros de modelos lógicos, fornecendo informações mais confiáveis que os *booleanos* (RUHOFF, 2004).

Santos (2007), ao elaborar a carta de fragilidade ambiental emergente da Bacia Hidrográfica do Rio Tenente Amaral em Jaciara - MT, constatou que a classe “Forte” predomina em 52,81% da área, em locais com sedimentos inconsolidados areno-argilosos da Formação Cachoeirinha, LATOSSOLOS VERMELHO ESCUROS de textura argilosa e relevos em topos situados nos segmentos superiores das vertentes e também em locais com LATOSSOLOS VERMELHO AMARELOS argilosos, nos segmentos intermediários das vertentes em declives inferiores a 6%. As áreas de classe de fragilidade ambiental emergente “Média” estão restritas ao setor leste onde a erosividade é menor e uso com pastagens, distribuídas em 11,50% da área. As áreas de NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, de sedimentos arenosos e siltico arenosos inconsolidados, da formação Cachoeirinha e com formas convexas situados nos segmentos inferiores das vertentes foram classificadas de fragilidade “Muito Forte” e ocupam 35,69% da bacia.

Diante desse quadro, o presente trabalho tem por objetivo determinar a fragilidade ambiental dessa área, utilizando a técnica de avaliação por múltiplos critérios.

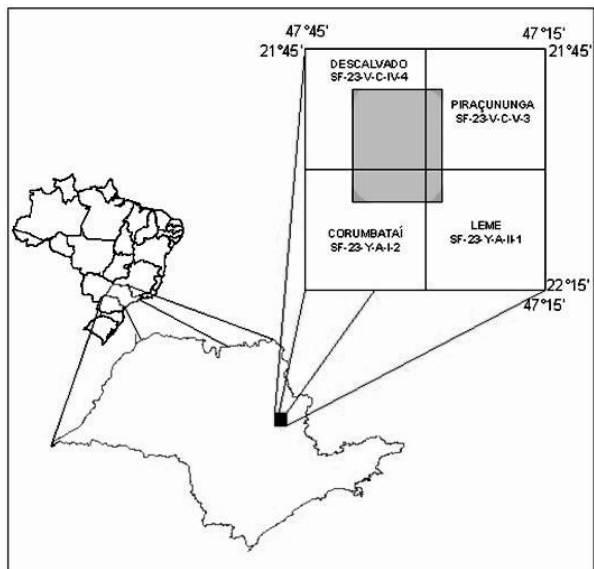


Fig. 1 - Localização da área de estudo e articulação da base cartográfica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido na região centro-leste do Estado de São Paulo, compreendendo parte das folhas Descalvado (BRASIL – IBGE, 1971a, Piraçununga (BRASIL – IBGE, 1971b, Corumbataí (BRASIL – IBGE, 1971c e Leme (BRASIL – IBGE, 1971d). A área de estudo está delimitada pelas coordenadas UTM, zona 23: xmin=226200; xmax=244000; ymin=7558000; e, ymax=7584000, correspondendo à Região Geoeconômica do Médio Mogi Guaçu Superior (SÃO PAULO-SMA, 1995).

De acordo com Mendonça & Danni-Oliveira (2007), o clima na região está inserida no macrotipo climático Clima Tropical Úmido-Seco; subtipo Clima Tropical do Brasil central sem seca; caracterizado por apresentar chuva em todos os meses do ano, com maior concentração, com maior concentração na estação de verão e redução na estação de inverno. No verão as temperaturas são elevadas e, no inverno reduzida. No município de Descalvado o tipo climático, segundo Köppen é Cwa, isto é, mesotérmico, úmido, sub-tropical, de inverno seco e verão chuvoso, com médias anuais do mês mais frio inferior a 18°C e do mês mais quente superior a 22°C e pluviosidade anual de 1700mm (BRASIL-SUPLAN, 1979).

Segundo SÃO PAULO-IG (1980, 1981, 1984a,b), MELLO (1995) e FERREIRA (2005),

a área estudada situa-se na Bacia Sedimentar do Paraná e apresenta as seguintes formações geológicas: Formação Corumbataí (Permiano), Formação Pirambóia (Triássico), Formação Botucatu (Jura-Cretáceo), Formação Serra Geral (Jura-Cretáceo), Formação Itaqueri (Cretáceo/Terciário), Formação Santa Rita do Passa-Quatro (Terciário), Formação Pirassununga (Terciário), e depósitos recentes do Quaternário.

Quanto à geomorfologia, está inserida em sua maior parte na Unidade Morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista (Planalto Residual de São Carlos e Patamares Estruturais de Ribeirão Preto) e uma menor porção abrangendo a Unidade Morfoescultural da Depressão Periférica Paulista (Depressão Mogi-Guaçu), que apresentam formas de relevo constituídas de cuestas (frente e reverso), morros altos, morrotes, colinas (topos convexos e tabulares), planícies e planícies de inundação (ROSS & MOROZ, 1997).

Os cursos e corpos d'água encontrados na área de estudo são: rio Bonito, o qual apresenta como principais tributários o córrego da Vila Nova, córrego da Bomba, córrego da Serrinha, córrego do Rosário, córrego do Cateto, córrego Santo Antônio, córrego da Capetinga, córrego do Paiolzinho ou da Olaria, e ribeirão da Areia Branca.

De acordo com os mapas pedológicos das quadrículas Araras, Descalvado e São Carlos, ocorrem na área unidades de mapeamento com as seguintes classes de solos (OLIVEIRA et al., 1981, OLIVEIRA et al., 1982 E PRADO et al., 1982), correlacionadas para BRASIL-EMBRAPA (1999):

LATOSSOLOS VERMELHOS: LRd.1 – LATOSSOLO ROXO Distrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa (Unidade Barão Geraldo); LRe – LATOSSOLO ROXO Eutrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa (Unidade Ribeirão Preto); LE.1 – LATOSSOLO VERMELHO ESCURO Álico, A moderado, textura média (Unidade Dois Córregos); LE.2 – LATOSSOLOVERMELHO ESCURO Álico, A moderado, textura média (Unidade Hortolândia); LE.3 – LATOSSOLOVERMELHO ESCURO Álico, A moderado, textura argilosa (Unidade Limeira).

LATOSSOLOS VERMELHOS AMARELOS: LV.1 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Álico, A moderado, textura média (Unidade Coqueiro); LV.2 -

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Álico, A moderado, textura média (Unidade Laranja Azeda); LV.3 - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Álico, A proeminente, textura argilosa ou muito argilosa. (Unidade Itororó); LV.4 - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Álico, A moderado, textura média (Unidade São Lucas).

ARGISSOLOS VERMELHOS AMARELOS: PV.1 – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO Abruptico, Álico, A moderado, textura média/argilosa (Unidade Santa Cruz); PV.2 - PODZÓLICO VERMELHO AMARELO Abruptico, Álico, A moderado, textura arenosa/média. (Unidade Serrinha).

NITOSSOLOS VERMELHOS: TE.1 – TERRA ROXA ESTRUTURADA Eutrófica, A moderado.

NEOSSOLOS: AQ.1 – AREIAS QUARTZOSAS PROFUNDAS Álicas, A moderado, excessivamente drenada; Li.1 – SOLOS LITÓLICOS Eutróficos ou Distróficos, A moderado, textura indiscriminada, substrato sedimentos finos do Permiano; Li.2 - SOLOS LITÓLICOS Eutróficos ou Distróficos, A moderado, textura indiscriminada, substrato Arenito Botucatu – Pirambóia; Li.3 - SOLOS LITÓLICOS Eutróficos, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa ou muito argilosa, substrato basalto ou diabásio.

GLEISSOLOS: Hi – SOLOS HIDROMÓRFICOS – Gley pouco húmico e Gley húmico.

A vegetação original preservada na forma de fragmentos esparsos é representada por cerrados, floresta estacional semidecidual e mata ciliar. Atualmente é ocupada por pastagens e culturas de citros, cana-de-açúcar e reflorestamentos.

2.2 Análise de múltiplos critérios

A análise multicritério é uma ferramenta importante para orientar a tomada de decisão. Para efetuar esta análise são utilizados vários critérios simultâneos que podem ser representados na forma de camadas de dados geográficos, sendo, neste caso, a utilização de ferramentas de SIG essencial.

No presente trabalho, utilizou-se o programa Idrisi 3.2®, que apresenta módulos que auxiliam no processo de tomada de decisão. Desta maneira, reclassificaram-se os mapas temáticos da área de estudo já existentes para adequar a distribuição das

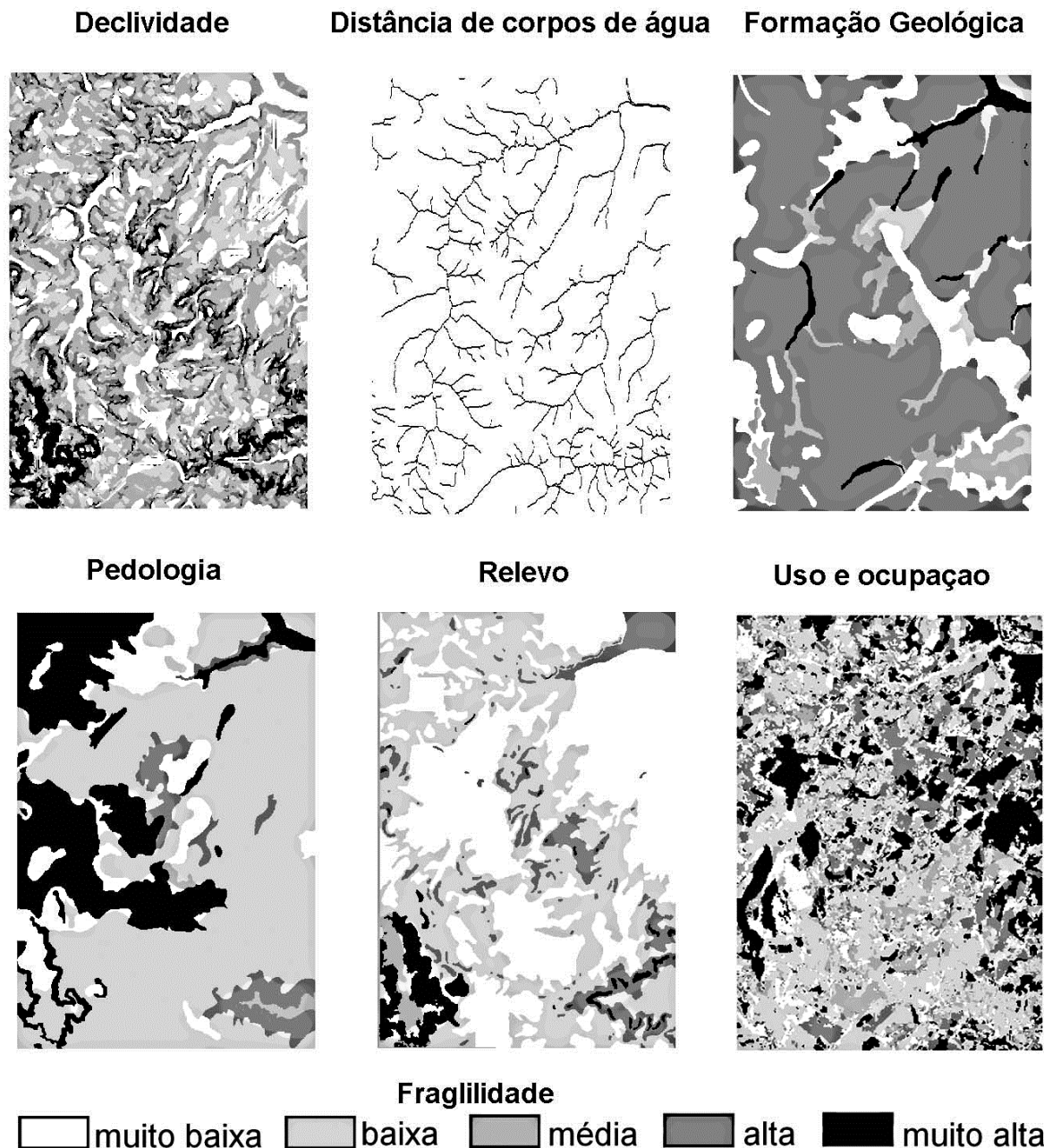


Fig. 2 - Mapas utilizados na análise da fragilidade ambiental da área de estudo.

classes encontradas nos mesmos, visando atender a metodologia adotada neste trabalho (Tabela 1).

Para a tomada de decisão, optou-se pela Análise de Múltiplos Critérios (MCE) a Combinação Linear Ponderada. Apesar de outros procedimentos serem mais simples, como as operações booleanas, que se baseiam na lógica da intersecção (E) e da união (ou) a combinação linear permite efetuar a compensação entre os fatores ao invés de apenas identificar as áreas como aptas ou inaptas (ESTMAN, 2003).

Os critérios utilizados são de natureza relativa (denominados fatores) e representam fenômenos que variam continuamente no espaço e corresponderam aos mapas de declividade,

distância de rios, formação geológica, unidade de mapeamento, relevo e de uso do solo.

Como cada mapa apresenta unidades e características diferentes, fato que inviabilizaria o estudo, cada critério foi padronizado para a mesma escala de 1 (muito baixa) à 5 (muito alta).

Entre os métodos de determinação de pesos, utilizou-se o processo de análise hierárquica (AHP) que se atribui um valor de julgamento ao relacionamento entre os diferentes critérios quando pareados (CORSEUIL, 2006). Os pesos de importância a cada um dos fatores, através da comparação pareada, (Tabela 2) foram atribuídos com base no conhecimento do comportamento dos

TABELA 1 – RECLASSIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUANTO AO GRAU DE FRAGILIDADE PARA DECLIVIDADE, TIPO DE SOLO, FORMAÇÃO GEOLÓGICA, RELEVO, DISTÂNCIA DE RIOS E USO DA TERRA

Fragilidade e (conceito)	Declividade (%)	Unidade de mapeamento	Formação geológica	Relevo	Distância de rios	Uso da terra
Muito baixa (1)	0 – 2	LRd.1, LRd.1+LRe, LE.3	Serra Geral	Planícies	+ de 50m	Cerradão, mata
Baixa (2)	2 – 5	LE.1, LE.2, LV.1, LV.2, LV.3, LV.1+LV.2, LV.1	Corumbataí	Colinas	-	Pastagens, cerrado
Média (3)	5 – 10	LV.4, TE.1	Itaqueí, Pirambóia	Reverso da cuesta	-	Laranja, reflorestamento
Alta (4)	10 – 15	PV.1, PV.2	Pirassununga, Santa Rita do Passa Quatro e Botucatu	Morrotes	-	Cana-de-açúcar, outras culturas
Muito alta (5)	+ de 15	AQ.1, Li.1, Li.3, Li.3+Li.2, Li.3+TE.1, Hi	Corpo d'água, Quaternário	Cuestas, morros altos, planícies de inundação	0 a 50m	Solo exposto, corpos d'água, área urbana, mineração

TABELA 2 – MATRIZ DE COMPARAÇÃO PAREADA ENTRE OS FATORES E OS PESOS CALCULADOS

Fatores	Declividade	Unidades de mapeamento	Formação geológica	Relevo	Distância de rios	Uso da terra
Declividade	1	-	-	-	-	-
Unidades de mapeamento	1/3	1	-	-	-	-
Formação geológica	¼	2	1	-	-	-
Relevo	3	7	3	1	-	-
Distância de rios	1	1	2	1/2	1	-
Uso da terra	3	5	5	1	2	1

Parâmetros para a comparação pareada

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente
Menos importante					Mais importante			

atributos da área de estudo quanto à erosão e à fragilidade ambiental.

Os fatores e seus pesos resultantes foram usados no módulo MCE (Multi Criteria Evaluation), adotando-se a Combinação Linear Ponderada (WLC). Desta maneira, utilizando-se a matriz de comparação pareada entre os fatores e os pesos calculados, que variavam de 9 a 1/9, o programa multiplicou cada fator por seu peso e depois somou os resultados, pixel a pixel. O mapa gerado recebeu um filtro de moda 3x3 para a eliminação de possíveis ruídos, obtendo-se assim o mapa de fragilidade ambiental na escala 1:50.000.

Criou-se a classe de fragilidade inerente, a qual correspondeu às áreas de preservação permanente, conforme o Código Florestal Brasileiro (BRASIL-MJ, 1967) e a sua regulamentação pela Resolução CONAMA nº 303 (BRASIL-MMA, 2002). Essa classe, por lei, deve ser protegida devido a sua importância na paisagem e na fragilidade ambiental (encontra-se ao redor dos corpos de água). Para tanto, gerou-se um mapa de proteção com cobertura de 50m, a partir das informações de hidrografia e da área alagada do Rio Mogi-Guaçu. Esse mapa foi sobreposto ao mapa de fragilidade final.

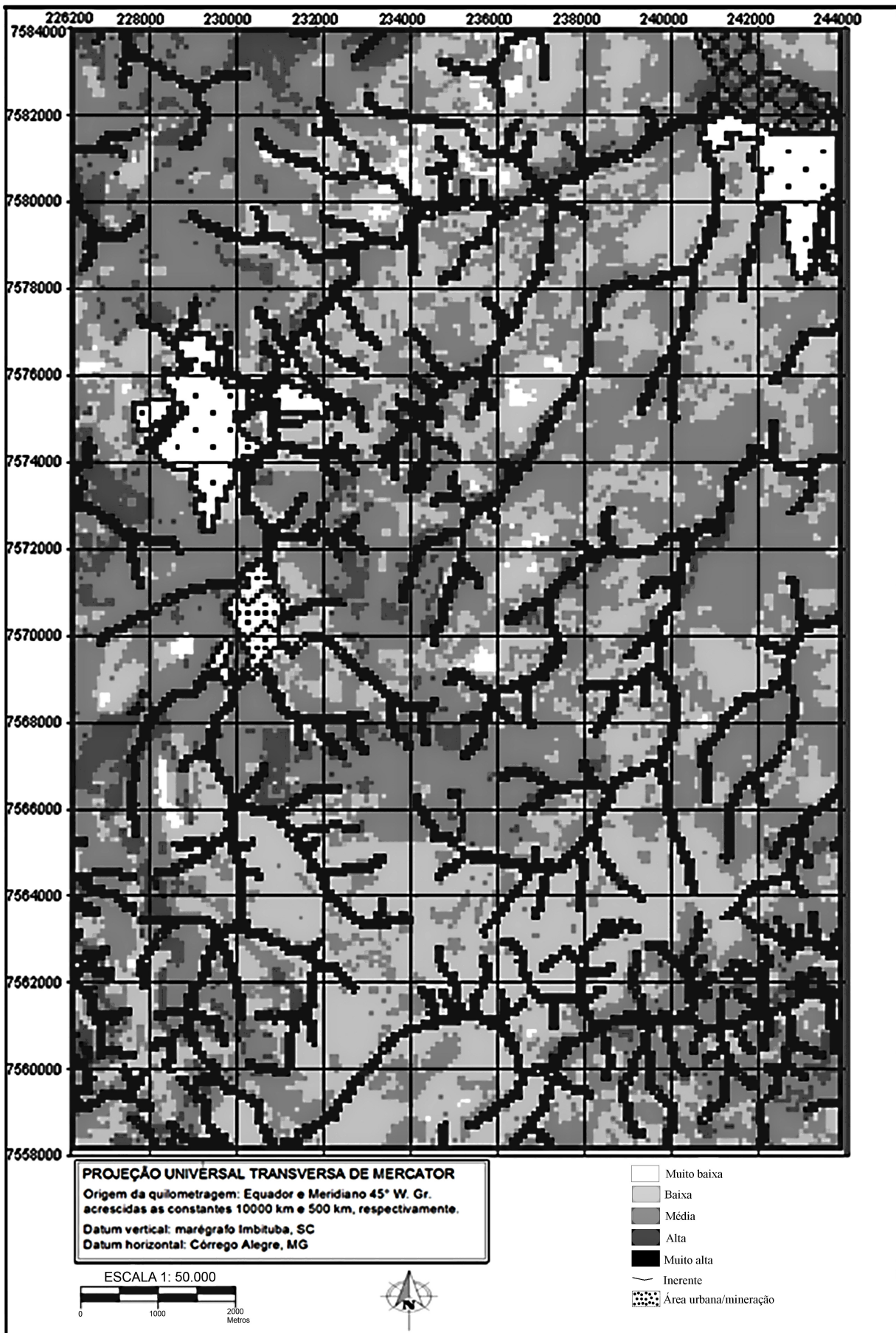


Fig. 3 - Mapa de fragilidade ambiental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise MCE gerou um mapa de fragilidade ambiental com predominância de áreas classificadas como de baixo e médio potencial de fragilidade ambiental (Figura 3). Estas classes perfazem 52.215,49 ha, correspondendo a 91,2% da área total. Os resultados refletem a ocorrência predominante dos solos (LATOSSOLO VERMELHO ESCURO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO) reconhecidamente permeáveis e resistentes à erosão, ocupando formas de relevo (planícies e colinas de topos convexos e tabulares) suavizadas por processos de pediplanação e que apresentam declives de 2 a 10%, o que reflete também o peso desses fatores na matriz de correlação. A sobreposição das informações das áreas de preservação permanente e da carta de fragilidade permitiu a identificação da classe de fragilidade inerente, a qual perfaz 4518,89ha.

Na análise da influência de cada fator nas classes de fragilidade potencial, cabe destacar:

1. A fragilidade muito baixa foi mais influenciada pelos fatores: material geológico representado pela Formação Serra Geral (71,05%), pelas unidades de mapeamento que tem como componente o LATOSSOLO ROXO (85,74%) e áreas com cerrado, cerradão, mata e pastagem (97,52%). Apesar das duas últimas terem recebido maior peso na matriz de correlação, as áreas com vegetação natural são restritas e esparsas, de modo que a ocorrência do LATOSSOLO ROXO foi o fator determinante na contribuição percentual da classe de fragilidade muito baixa, apresentando apenas 0,97%.

2. A classe de fragilidade muito alta também apresentou baixa participação (0,05%), sendo influenciada pela ocorrência de alto declive (98,87%), pela formação geológica representada por sedimentos recentes e corpos d' água (99,62%), pelas unidades de mapeamento que têm como componente os solos litólicos, hidromórficos e as areias quartzosas (99,62%), e pela existência de solos expostos, área urbana e mineração (97,36%).

3. A classe de alta fragilidade foi mais influenciada pelos fatores: unidades de mapeamento com ocorrência de solos litólicos, hidromórficos e de areias quartzosas (80,32%), seguido da contribuição das formações Pirassununga, Botucatu e Santa Rita do Passa Quatro, dentre as quais se destaca esta última, pela grande abrangência, pois

apresentou maior participação na contribuição desse fator. Entretanto, a baixa participação no risco à erosão (7,74%) deve-se à ocorrência de baixos declives, de relevos do tipo planície e colinas, e de solos permeáveis, bem como ao baixo peso recebido na matriz de correlação.

A classe de fragilidade ambiental baixa (37,81%) se mostrou mais influenciada pelo fator unidade de mapeamento com os componentes LATOSSOLO VERMELHO ESCURO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (80,91%), seguido da ocupação com pastagem (54,16%), a qual foi considerada de fragilidade potencial baixa.

Na fragilidade ambiental média (53,42%), os fatores que mais contribuíram foram as formações geológicas Itaqueri e Pirambóia (72,04%), seguido dos LATOSSOLOS (51,66%). Observa-se que individualmente a contribuição desses fatores foi relativamente pequena para essa classe, contudo, o peso recebido na matriz de correlação foi determinante para a predominância nesta classe de risco à erosão, a qual está associada à ocorrência de baixos declives, solos permeáveis, formas de relevo suavizadas. Nesta classe também foi incluído áreas com Areias Quartzosas que, apesar de conferir alta fragilidade potencial, se mostrou amenizada pela ocupação por pastagens.

Considerando que o cultivo de cana-de-açúcar e culturas anuais, os quais ocorrem associados a solos expostos pelo uso do sistema de agricultura convencional determinando uma alta fragilidade potencial e, além disso, receberam um maior peso na matriz de correlação, teve-se a expectativa que a área ocupada por essa forma de uso determinasse uma maior participação da classe de alta fragilidade (próximo a 15%), fato que não aconteceu.

Na ponderação dos seis fatores que foram considerados neste trabalho na matriz de correlação, observou-se uma minimização da contribuição dessa modalidade de uso, contribuindo para a predominância da classe média de fragilidade (53,42%). Esses resultados são coerentes principalmente quando associado ao fato das culturas, depois de implantadas, oferecerem boa cobertura do solo, reduzindo o risco à erosão. Soma-se a isso a ocorrência desta forma de ocupação em baixos declives, em solos permeáveis e em formas suavizadas de relevo.

Por representar 5,91% da área de estudo, a distância de corpos de água não foi representativa quantitativamente quando esse dado foi cruzado com o mapa de fragilidade ambiental. No entanto, deve-se ressaltar que esse dado foi importante na determinação da mesma, sendo que 58,02% da área com distância de rios até 50 metros foram classificados nas classes de fragilidade média, alta e muito alta.

Apesar da ponderação feita no presente trabalho considerar que áreas ocupadas por pastagem apresentam baixa fragilidade, mostra-se importante ressaltar citar que há riscos pontuais nessas áreas em virtude do pisoteamento do gado em conjunto com o escoamento superficial, verificando-se locais com ou em início de erosão laminar.

Verificou-se, em campo, que inclusões de tipos de solo em determinadas unidades de mapeamento, como, por exemplo, Latossolo vermelho escuro em LE+TE, não foram mapeadas em virtude da escala utilizada (1:50.000), por serem pequenas áreas, não havendo variações quanto a fragilidade ambiental observada no local e a indicada pelas análises.

Áreas de mineração foram classificadas com fragilidade média (22,86ha) e alta (240,97). Observou-se que devido ao grande impacto desta atividade e de suas consequentes mudanças na paisagem e no relevo, estas áreas deveriam estar enquadradas como de alta ou muito alta fragilidade. No presente trabalho, tal fato não ocorreu em sua totalidade, pois as informações cartográficas utilizadas são anteriores a essas modificações, visto que os fatores formação geológica, formas de relevo e declividade foram os determinantes nesse caso. Nos critérios adotados para o uso de solo, a atividade mineradora equipara-se ao solo exposto e a área urbana. A junção dos parâmetros adotados pode ter contribuído para a amenização da classificação da fragilidade potencial para a mineração.

4. CONCLUSÕES

A ponderação dos fatores pela matriz de correlação e pela técnica de análise de múltiplos critérios abordados neste trabalho permitiu discriminar as áreas com fragilidade potencial associado ao risco de erosão.

No mapa de fragilidade ambiental observa-se a predominância de áreas classificadas como de baixo e médio risco à erosão, refletindo a ocorrência dominante de latossolos, reconhecidos como permeáveis e resistentes à erosão, ocupando formas de relevo suavizadas e com declives de 2 a 10%.

A classe de fragilidade muito baixa indica uso conservacionista do solo (com vegetação natural), porém com pouca influência devido a sua área reduzida.

No caso das formas de uso e ocupação que condicionam a fragilidade potencial alta, as mesmas tiveram suas influências minimizadas pela ocorrência dos demais fatores considerados neste trabalho.

Por fim, acredita-se que o presente trabalho contribui para auxiliar no processo de tomada de decisão para um planejamento e gestão ambiental da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, R. A. B.; BASTOS, E. J. B. & VALÉRIO FILHO, M. Mapeamento das áreas de fragilidade ambiental com risco potencial a erosão frente a ocupação urbana na região oeste do município de São José dos Campos-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 7., 2006, Florianópolis. **Anais**. p. 01-09, 2006.

BRASIL-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412p.:il.1999.

BRASIL-IBGE. Descalvado. **Carta do Brasil – Escala 1:50000**. Folha SF-23-V-C-IV-4. 1ª edição. Fundação IBGE. Departamento de Cartografia. 1971a.

BRASIL-IBGE. Piraçununga. **Carta do Brasil – Escala 1:50000**. Folha SF-23-V-C-V-3. 1ª edição. Fundação IBGE. Departamento de Cartografia. 1971b

BRASIL-IBGE. Corumbataí. **Carta do Brasil – Escala 1:50000**. Folha SF-23-Y-A-I-2. 1ª edição. Fundação IBGE. Departamento de Cartografia. 1971c.

BRASIL-IBGE. Leme. **Carta do Brasil – Escala 1:50000**. Folha SF-23-Y-A-II-1. 1ª edição.

- Fundação IBGE. Departamento de Cartografia. 1971d.
- BRASIL-SUPLAN. Aptidão agrícola das terras de São Paulo. **Estudos Básicos para o planejamento agrícola**. Brasília: Binagri Edições, 1979 (Série aptidão agrícola, 20).
- BRASIL-MJ. **Novo Código Florestal**. Lei 4771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4711.htm Acesso em: 28 junho 2007.
- BRASIL-MMA. Resolução CONAMA 303, de 20 de março de 2002. **Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/> Acesso em: 28 junho 2007.
- CEREDA JUNIOR, A. **Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do Ribeirão do Monjolinho - São Carlos - SP - utilizando ferramentas de geoprocessamento**. São Carlos: Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 2006. 111p. (Dissertação (Mestrado)).
- CORSEUIL, C. W. Técnicas de geoprocessamento e de análise multicritérios na adequação de uso das terras. 2006. 117 f. Botucatu: UNESP – Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2006. 101p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Neto”, Botucatu, 2006.
- DONHA, A. G., SOUZA, L. C. P. & SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **R. Bras. Eng. Agr. e Amb.**, 10 (1): 175–181, 2006.
- EASTMAN, J. R. IDRISI Kilimanjaro: **Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, Clark Labs. 306p. 2003.
- FERREIRA, S.R. Análise pedoestratigráfica das formações Rio Claro e Piraçununga no Centro-Leste do Estado de São Paulo. 2005. 157 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). UNESP- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2005.
- FIGUEIREDO, G. C., BRAGA, A. L., ELOI, F. H., CARVALHO, A. S. & CALIJURI, M. L. Caracterização da fragilidade ambiental utilizando sistema de informações geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 7., 2006, Florianópolis,. Anais. p. 01-09, 2006.
- MELLO, M.S. A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neoceno-zóica na Depressão Periférica Paulista. 1995. 144 f. Tese (Doutorado em Geociências). USP- Instituto de Geociências, São Paulo, 1995.
- MENDONÇA, F. & DANNI-OLIVEIRA. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 206p. 2007.
- OLIVEIRA, J. B.; MENDES, J. R. F.; BARBIERI, J. L.; ROTA, C. L. & TREMOCOLDI, W. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Araras (SF-23-Y-A-II)**. IAC – Divisão de Solos, Seção de Pedologia. 1981.
- OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. & ALMEIDA, C. L. F. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Descalvado (SF-23-V-C-IV)**. IAC – Divisão de Solos, Seção de Pedologia. 1982.
- PRADO, H.; OLIVEIRA, J. B. & ALMEIDA, C. L. F. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos (SF-23-Y-A-I)**. IAC – Divisão de Solos, Seção de Pedologia. 1981.
- NAKASHIMA, M. S. R. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum**, 23 (6): 1547-1560, 2001.
- ROSS, J.L.S & MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: :FFLCH-USP, IPT, FAPESP. Mapas e Relatório. 69p. 1997.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica das fragilidades dos ambientes naturais e antropizados. **Rev. do Depto. de Geog.** FFLCH-USP, 8, 1994.
- RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de Recursos Hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Geomática. 93p. (Dissertação de Mestrado). 2004

SANTOS, V.S. (2007) **Análise ambiental integrada do componente solo como subsídio para avaliação da sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Tenente Amaral em Jaciara – Mato Grosso**. São Carlos: UFSCar: Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. 165p. (Tese de Doutorado).

SÃO PAULO-INSTITUTO GEOLÓGICO. 1984a. **Formações geológicas de superfície**. Folha geológica de Descalvado. Escala 1:50000. Folha SF-23-V-C-IV-4. São Paulo:SMA.

SÃO PAULO-INSTITUTO GEOLÓGICO. 1981. **Formações geológicas de superfície**. Folha geológica de Piraçununga. Escala 1:50000. Folha SF-23-V-C-V-3. São Paulo:SMA.

SÃO PAULO-INSTITUTO GEOLÓGICO. 1984b. **Formações geológicas de superfície**.

Corumbataí. Escala 1:50000. Folha SF-23-Y-A-I-2. 1ª edição. São Paulo:SMA.

SÃO PAULO-INSTITUTO GEOLÓGICO. 1980. **Formações geológicas de superfície**. . Folha Geológica de Leme. Escala 1:50000. Folha SF-23-Y-A-II-1. São Paulo:SMA.

SÃO PAULO-SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1995. **Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio-Grande. Questões Sócio-Ambientais Regionais**. Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Secretaria de Economia e Planejamento. São Paulo. 168p. + Anexos 163p.

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