

## **Evolução do uso e cobertura do solo e a suscetibilidade natural à erosão das Áreas de Preservação Permanente da Folha "Pariquera-Açu" (1:50.000, SG.23-V-A-IV-1), Vale do Ribeira, SP**

Cibele Hummel do Amaral  
Arlei Benedito Macedo  
Fabrício Bau Dalmas  
Sidney Schaberle Goveia

Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo – IGc/USP  
Rua do Lago, 562 - 05508-080 - São Paulo - SP, Brasil  
{chamaral, abmacedo, fbdalmas}@usp.br  
sidney@igc.usp.br

**Abstract.** This study aimed to carry out the delimitation of APPs in the "Pariquera-Açu" Chart (IBGE, 1:50,000), and to study the evolution of land use and natural susceptibility to erosion of these areas. It was performed photo interpretation of orthophotos for inclusion of features (wetlands, lakes, reservoirs). It has also been generated a hydrologically consistent digital elevation model and a slope matrix map for further delineation of the APPs of the study area. The images (Landsat TM) of different years (1986, 1997 and 2008) were classified by the method of Maximum Likelihood. A modeling of land changes was performed, to observe the losses and gains between the classes of land use in both periods. Using the Analytic Hierarchy Process and Multi-criteria Evaluation, it was also carried out an analysis of natural susceptibility to erosion according to natural factors: geology, soil conditions, rainfall and slope. The chart studied has 14,000.7ha of APP, 19.9% of the total study area (70,189.1ha). The Dense arboreal vegetation class was the most present in all the APPs of the study area, in 2008 this class already occupied 56.8% of total APPs. All categories of APPs had most of its areas with High natural susceptibility to erosion (68.1%). Both the natural susceptibility to erosion and the use and occupation of land, in different categories of APPs appear to be linked to the altitude and slope associated with the areas where they are located.

**Palavras-chave:** Permanent Preservation Areas, Geographic Information System, Ribeira Valley, Áreas de Preservação Permanente, Sistema de Informação Geográfica, Vale do Ribeira.

### **1. Introdução**

A situação atual de grande parte das Áreas de Preservação Permanente (APPs), também no Vale do Ribeira, revela a incoerência entre o Código Florestal e a realidade de seu uso. A ocupação ilegal destas áreas tem sido influenciada por diversos fatores como a topografia, a natureza dos solos, a falta de infraestrutura e o histórico problema fundiário da região.

As APPs, definidas pelo atual Código Florestal Brasileiro foram criadas com o intuito de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora e de proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas; desta forma, os impactos ambientais causados pelas atividades de uso e ocupação do solo, sobre estas áreas, geram não apenas influência local, mas a toda a Bacia Hidrográfica na qual estão inseridas, devido à relação intrínseca entre a estabilidade das APPs e o bom funcionamento do sistema complexo, que é uma Bacia Hidrográfica. A recarga do lençol freático e dos cursos d'água, a qualidade da água e dos solos e a estabilidade geológica e pedológica só são possíveis se as APPs tiverem sua vegetação nativa preservada, ou se as atividades consolidadas nestas áreas forem manejadas visando à mitigação dos impactos negativos, a fim de preservar a estabilidade destes ambientes.

No entanto, a origem do conflito parece estar na legislação, que permite interpretações dúbias e dificulta a definição destas áreas não só por parte da população, mas também por parte dos órgãos ambientais responsáveis. A fiscalização também se mostra ineficiente, principalmente, devido às dimensões continentais que o país apresenta, dificultando o controle

por completo pelos órgãos responsáveis, ao fato de muitas atividades antrópicas estarem consolidadas nestas áreas antes da regulamentação da lei referente às APPs, representando um empecilho à aplicação desta, e à falta de políticas públicas que promovam a educação ambiental da população para entendimento do motivo pelo qual estas áreas devem ser preservadas.

Embora existam programas de revegetação em áreas ciliares do Vale do Ribeira, principalmente ao longo do Rio Ribeira de Iguape, é evidente a ausência de projetos que considerem todas as categorias de APPs nos estudos de uso e ocupação do solo e de sua influência na bacia hidrográfica. A abordagem restrita às áreas ciliares de cursos d'água não reflete a verdadeira situação das APPs, pois exclui a importante análise do uso do solo e suas consequências em APPs ao longo de cursos d'água associados a várzeas, ao redor de lagos e reservatórios, em topo de morros, em linhas de cumeada e em encostas com declividade acima de 45°. Muitas vezes, a ocupação inadequada destas últimas é a principal causa dos impactos ambientais observados a jusante, como o assoreamento de rios e córregos; e quando combinada com eventos climáticos extremos, podem resultar em movimentos de massa de solos e outros materiais, como vem ocorrendo extensamente pelo país, inclusive no Alto do Ribeira.

Desta forma, este estudo visou analisar a evolução do uso e cobertura do solo nas APPs da área de estudo e a suscetibilidade natural à erosão desses ambientes para subsidiar a ação dos órgãos competentes e dos proprietários envolvidos com a gestão destas áreas.

## 2. Metodologia de trabalho

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde à Folha “Pariquera-Açu”, de escala 1:50.000 (IBGE) e sigla internacional: SG.23-V-A-IV-1, localizada na Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape, extremo sul do estado de São Paulo, entre as coordenadas 24° 30” e 24° 45’ S e 47° 45’ e 48° W (Figura 1), abrangendo cerca de 70.189 ha.

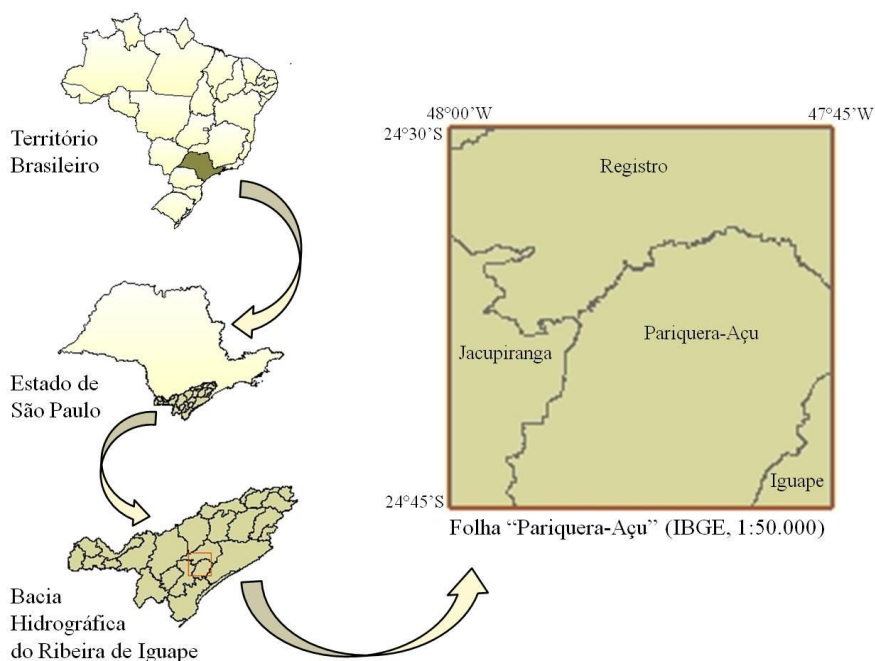


Figura 1. Localização da área de estudo (GCS/SAD69).

### 2.2. Materiais e programas utilizados

Os materiais e programas utilizados para realização do presente estudo foram:

- Carta topográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Folha “Pariquera-Açu” (SG.23-V-A-IV-1, 1:50.000);
- Fotografias aéreas, do ano de 2001, pertencentes ao levantamento do Programa de Proteção da Mata Atlântica da Secretaria do Meio Ambiente (PPMA-SMA), com escala nominal de 1:35.000;
- Imagens orbitais do satélite Landsat 5 (sensor TM), de órbita 220 e rota 077, com resolução espacial de 30m (Tabela 4), obtidas em 14 de setembro de 1986 (ID: L5TM22007719860914), em 24 de junho de 1997 (ID: L5TM22007719970624) e em 06 de junho de 2008 (L5TM22007720080606);
- Mapas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) de curvas de nível (equidistância de 20m) e de hidrografia (1:50.000), obtidos pelo SIG-RB (2008);
- Mapa geológico (CAMPANHA, 2008), de escala 1:250.000, obtido pelo SIG-RB (2009);
- Mapa pedológico (LEPSCH, 1999), de escala 1:250.000, obtido pelo SIG-RB (2009);
- Mapa pluviométrico (DRENATEC, 2007), de escala 1:250.000, obtido pelo SIG-RB (2009);
- Legislações: Lei nº 4.771, de 15/09/1965 (BRASIL, 1965), Decreto Federal nº 89.817, de 20/06/1984 (BRASIL, 1984); Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 302 e nº 303, de 20/03/2002 (BRASIL, 2002a, 2002b);
- Programas: ArcGIS 9.2 (ESRI, 2008), ArcGIS 9.3 (ESRI, 2009), ENVI 4.6 (ITT Visual Information Solutions, 2008) e IDRISI Taiga 16.4 (EASTMAN, 2009).

### 2.3. Métodos

Para delimitação das APPs ao longo de cursos d’água, inicialmente foram realizados: correção do mapa vetorial de hidrografia por fotointerpretação, utilizando fotografias aéreas com resolução espacial de 1m; segmentação dos cursos d’água com larguras superiores a 10m e variáveis; definição do leito maior com a delimitação das várzeas, por reconhecimento em campo e fotointerpretação; e aplicação da faixa marginal a partir do leito maior dos cursos d’água, de acordo com as classes definidas pela legislação, utilizando a ferramenta *buffer* (ArcGIS 9.2).

As APPs ao redor de nascentes foram delimitadas, utilizando a ferramenta *buffer*, por faixa marginal de raio de 50m ao redor das nascentes, sendo estas consideradas como a extremidade inicial dos vetores de hidrografia. Para as APPs de lagos e reservatórios, rurais e urbanos, primeiramente, por fotointerpretação das fotografias aéreas com resolução espacial de 1m, as feições foram delimitadas e diferenciadas pela forma e presença de barragens, sendo os corpos d’água urbanos aqueles compreendidos pelo mapa vetorial de zona urbana administrativa; as APPs foram aplicadas em faixa marginal, de acordo com a legislação, utilizando a ferramenta *buffer*.

Para a delimitação das APPs de topo de morros e montanhas utilizou-se a metodologia de Hott *et al.* (2004) e para as APPs de linhas de cumeada foi realizada adaptação desta metodologia. Para tanto, no ArcGIS 9.3, inicialmente foram gerados um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) e um mapa matricial de declividade. O processo de delimitação das APPs efetivou-se com a utilização de ferramentas, como: *Hydrology*, *Raster calculator*, *Surface* e *Zonal Statistics*.

As imagens Landsat TM, dos anos de 1986, 1997 e 2008, inicialmente passaram por pré-processamento, com uso de filtro gaussiano para suavização de ruídos, no programa ENVI 4.6, e pelos processos de registro (ENVI) e georreferenciamento (ArcGIS 9.3) para sua ortorretificação. Estas imagens foram classificadas pelo método *ISODATA* (classificação não supervisionada), no ENVI 4.6, e com auxílio de dados de campo (“amostras de treinamento”) pelo método de Máxima Verossimilhança, no ArcGIS 9.3. Posteriormente, foi aplicado um

filtro de Mediana, no ENVI 4.6. Para a classificação supervisionada do ano de 2008 foram gerados uma matriz de confusão e seu respectivo Índice Kappa, no programa ENVI 4.6, com 192 pontos de “verdade de campo”, a fim de se observar a qualidade da classificação segundo Landis e Koch (1977).

De posse das classificações supervisionadas dos diferentes anos (1986, 1997 e 2008) foi realizada uma modelagem de mudanças do uso e cobertura do solo no programa IDRISI Taiga (*Land Change Modeler*). Esta modelagem permitiu a observação das persistências e das relações de perdas e ganhos entre as classes de uso e cobertura do solo para os períodos de 1986 a 1997 e de 1997 a 2008.

Utilizando o processo analítico hierárquico (*AHP*) e a avaliação multi-critério (*MCE*) do programa IDRISI Taiga, foi realizada uma análise de suscetibilidade natural à erosão de acordo com os fatores: geologia, pedologia, pluviometria e declividade. Os pesos atribuídos às diferentes classes, destes fatores naturais, observadas na área de estudo foram baseados em Crepani *et al.* (2001). A ponderação destes fatores, quanto à importância dos mesmos no desencadeamento de processos erosivos, foi realizada a partir de conversas com especialistas, revisão bibliográfica e análise de seus comportamentos na área de estudo.

### 3. Resultados e Discussão

As categorias de Áreas de Preservação Permanente (APPs) observadas na Folha “Pariquera-Açu” (1:50.000) e a área que ocupam, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Categorias de Áreas de Preservação Permanente e área ocupada, em hectares (ha) e em porcentagem (%), na Folha “Pariquera-Açu” (1:50.000).

Áreas de Preservação Permanente	Área ocupada na Folha “Pariquera-Açu” (1:50.000)	
	ha	%
Ao longo de cursos d'água	8.762,1	12,5
Ao redor de nascentes	615,8	0,9
Ao redor de lagos/reservatórios	312,9	0,5
Em topo de morros e montanhas	3.821,7	5,4
Em linhas de cumeada	4.905,9	7,0
<b>Total*</b>	<b>14.000,7</b>	<b>19,9</b>

\*Eliminando as sobreposições de categorias.

A quadrícula estudada apresenta baixa porcentagem do conjunto das Áreas de Preservação Permanente (19,9% de sua área total) se comparada com outros estudos. Isso ocorre devido às características principalmente geomorfológicas da área de estudo. Dessas APPs, as mais representativas são as que se encontram ao longo dos cursos d'água (12,5% da área de estudo), e essa maior representatividade pode ser explicada pela forte expressão das unidades morfoesculturais Depressão Tectônica do Baixo Ribeira e Planícies e Terraços Fluviais do Baixo Ribeira (97,7% da quadrícula estudada), representadas por planícies fluviais e algumas colinas baixas de topos convexos. A segunda e a terceira categorias de APPs mais representativas são as de linhas de cumeada (7,0% da área) e de topo de morros e montanhas (5,4%), possivelmente pelo fato de estas áreas serem realmente maiores que as outras APPs, pois compreendem todo o terço superior de morros e montanhas e agrupamentos destes e não

apenas faixas marginais a fisionomias, como acontece nas APPs de corpos e cursos d'água ou nascentes.

Tanto o processo de registro, quanto o processo de georreferenciamento, das imagens TM dos diferentes anos (1986, 1977 e 2008) apresentaram erro quadrático médio inferior a 25m, de acordo com as Normas Técnicas de Cartografia Nacional. As classes de uso e cobertura do solo observadas no campo e utilizadas no processamento das imagens, considerando as limitações da resolução espacial de 30m das imagens utilizadas, foram: Classe 1 - Vegetação arbórea densa; Classe 2 - Vegetação de várzea/ capoeira/ campo antrópico sujo; Classe 3 - Pastagem/ campo antrópico limpo; Classe 4 - Agricultura de porte herbáceo-arbustivo; Classe 5 - Bananicultura; Classe 6 - Solo exposto; Classe 7 - Corpo d'água. O Índice Kappa para a classificação supervisionada de 2008 foi de 0,88 e, segundo Landis e Koch (1977), este indica que a classificação apresentou qualidade excelente.

O uso e cobertura do solo, nos anos de 1986, 1997 e 2008, nas Áreas de Preservação Permanente da Folha "Pariquera-Açu" (1:50.000) estão apresentados na Figura 2.

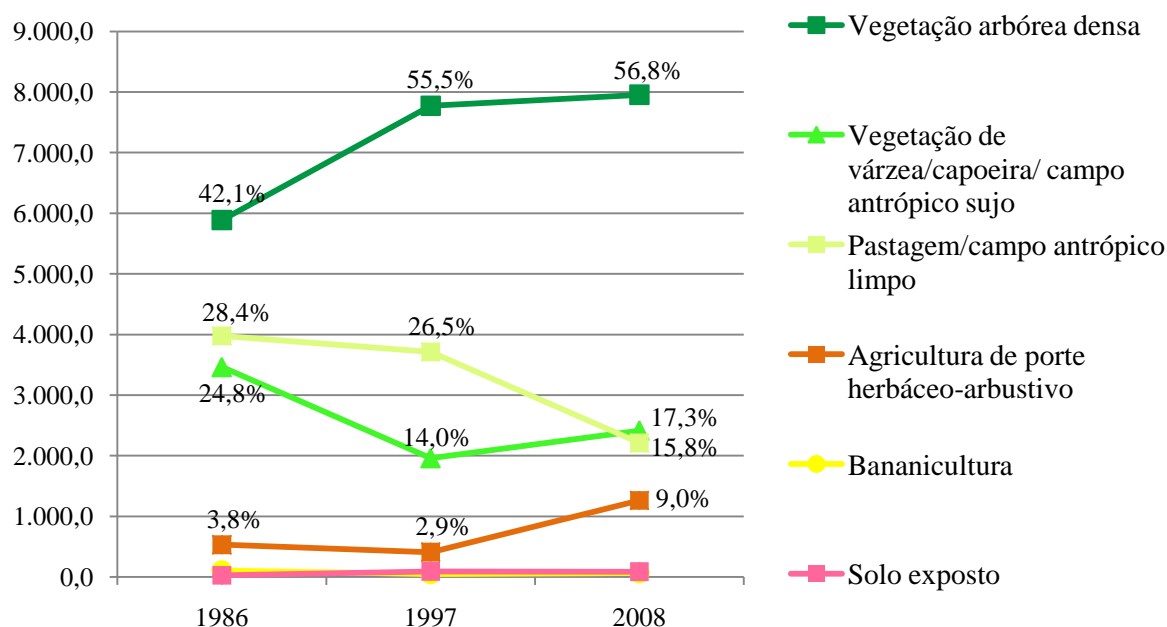


Figura 2. Uso e cobertura do solo nas Áreas de Preservação Permanente da Folha "Pariquera-Açu" (1:50.000) (em hectares e em porcentagem).

As classes de uso e cobertura do solo mais observadas nos três anos estudados na Folha "Pariquera-Açu" (1:50.000) foram: Vegetação arbórea densa; Vegetação de várzea/ capoeira/ campo antrópico sujo; e Pastagem/ campo antrópico limpo. A relação entre elas permitiu a geração de uma hipótese de recomposição dos ecossistemas florestais nas APPs da área de estudo, considerando a relação entre elas no processo de sucessão florestal:

- pastagem/ campo antrópico limpo → campo antrópico sujo/ capoeira → vegetação arbórea densa.

A baixa presença das classes Bananicultura e Agricultura de porte herbáceo-arbustivo (representada principalmente pela teicultura) pode ser explicada por suas ocorrências na paisagem: nas várzeas e nas colinas baixas de topos convexos, respectivamente, onde não há APPs.

A modelagem de mudanças entre as classes de uso e cobertura do solo confirmou o processo de recomposição dos ecossistemas florestais na maior parte das APPs da área de estudo. No primeiro período (1986 a 1997), o aumento em área da classe Vegetação arbórea

densa ocorreu pela maior contribuição da classe Vegetação de várzea/ capoeira/ campo antrópico sujo (Figura 3). Já no segundo período (1997 a 2008), a redução em área da classe Pastagem/ campo antrópico limpo ocorreu, em sua maior parte, pelas contribuições tanto da classe Vegetação de várzea/ capoeira/ campo antrópico sujo, indicando o processo de sucessão florestal, quanto da classe Agricultura de porte herbáceo-arbustivo, mostrando que, neste período, também ocorreu uma dinâmica entre estas atividades de uso do solo em parte das APPs (Figura 4).

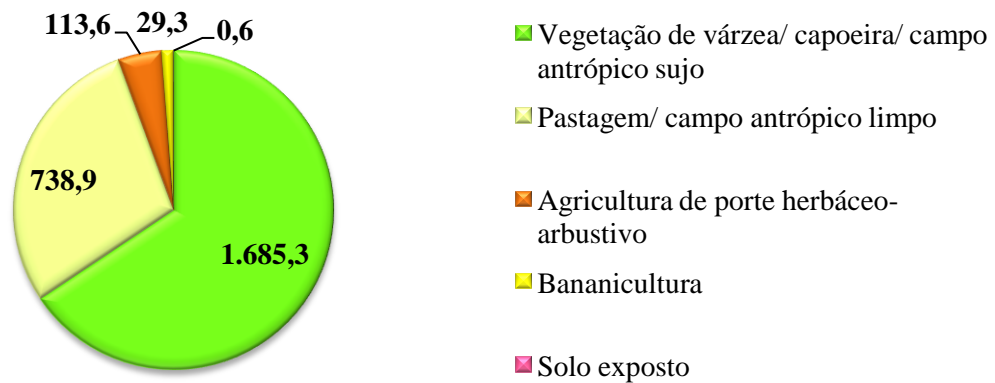


Figura 3. Contribuições das classes de uso e cobertura do solo ao aumento (em hectares) da classe Vegetação arbórea densa, entre os anos de 1986 e 1997.

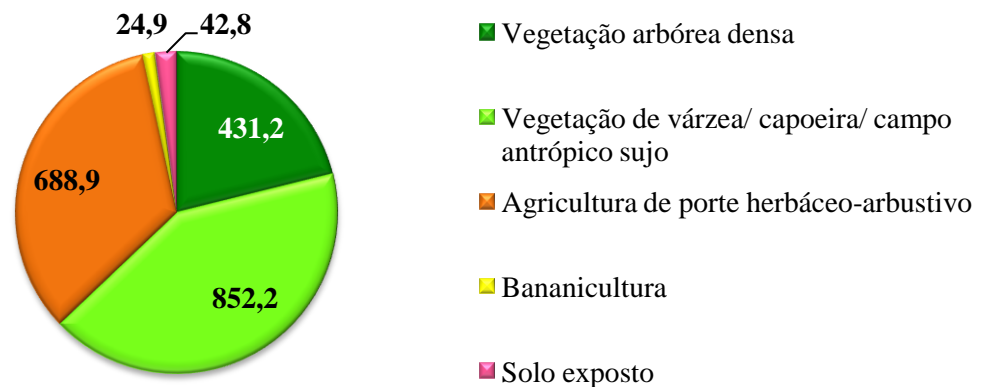


Figura 4. Contribuições das classes de uso e cobertura do solo à redução (em hectares) da classe Pastagem/campo antrópico limpo, entre os anos de 1997 e 2008.

Os pesos atribuídos aos fatores naturais, para observação da suscetibilidade natural à erosão das APPs da Folha “Pariquera-Açu” (1:50.000) foram: 0,0758 para Geologia; 0,2108 para Declividade; 0,2982 para Pluviosidade; e 0,4152 para Pedologia. A razão de consistência entre os pesos, igual a zero, demonstrou coerência das relações de importância consideradas na análise. Segundo Carvalho e Riedel (2005), quanto mais próxima de zero for a razão de consistência, mais coerente será o modelo. As classes de suscetibilidade natural à erosão das APPs da área de estudo e as áreas que ocupam estão apresentadas na Figura 5.

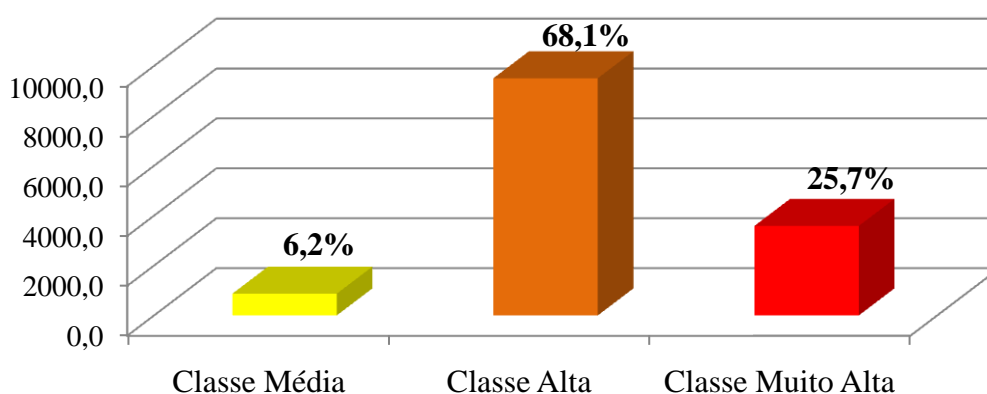


Figura 5. Suscetibilidade natural à erosão das Áreas de Preservação Permanente da Folha “Pariquera-Açu” (1:50.000) (em hectares e em porcentagem).

A classe de Alta suscetibilidade natural à erosão foi a mais presente em todas as categorias de APPs da área de estudo, com presença mínima de 62,4%, nas APPs ao redor de lagos e reservatórios, e máxima de 77,6%, nas APPs em topo de morros e montanhas, esta última possivelmente associada às altas declividades observadas nestas áreas. A classe Muito Alta foi a segunda mais observada, também, em todas as categorias de APPs, com presença mínima de 17,5%, nas APPs ao redor de nascentes, e máxima de 26,7%, nas APPs ao longo dos cursos d’água, aspecto que deve ser bastante observado, estas APPs, em muitas vezes, encontram-se em áreas agricultáveis, com menores altitudes e mais férteis. Nestas se o manejo não for ambientalmente adequado, além das possíveis contaminações químicas, poderão ocorrer grandes carreamentos de solos e sedimentos aos cursos d’água, afetando toda a bacia hidrográfica e as populações nela residentes. A jusante destas áreas, além da perda de qualidade da água, o assoreamento e redução das calhas dos rios promovem enchentes, cada vez mais catastróficas, como as observadas na região no último período chuvoso (2009/2010).

#### 4. Conclusões

Foram observadas na Folha “Pariquera-Açu” (1:50.000) as seguintes categorias de Áreas de Preservação Permanente (APPs): ao longo de cursos d’água, ao redor de nascentes, ao redor de lagos e reservatórios, rurais e urbanos, em topo de morros e montanhas e em linhas de cumeada. Essas categorias constituem, de acordo com sua regulamentação e com a metodologia utilizada, 19,9% da área de estudo.

No período estudado (1986, 1997 e 2008) as classes de uso e cobertura do solo mais representativas nas APPs da área de estudo foram: Vegetação arbórea densa, Vegetação de várzea/ capoeira/ campo antrópico sujo e Pastagem/campo antrópico limpo e as inter-relações dessas indicaram um processo de recomposição dos ecossistemas florestais com melhora do cumprimento das funções físicas e ecológicas da maior parte das APPs da área de estudo.

A Vegetação arbórea densa foi a classe mais presente no conjunto das APPs da área de estudo, nos três anos estudados e em 2008 esta classe já ocupava 56,8% do conjunto de APPs.

O processo de aumento da Vegetação arbórea densa está ocorrendo para toda a quadrícula estudada, indicando a maior influência do intenso êxodo rural ocorrido entre os anos estudados e abandono de áreas antes utilizadas por atividades agropecuárias.

As classes Bananicultura e Agricultura de porte herbáceo-arbustivo foram pouco observadas nas APPs da quadrícula estudada, ratificada pela observação de suas maiores manifestações na paisagem: nas áreas de várzeas (bananicultura) e nas colinas baixas de topo convexo (teicultura), onde não há APPs.



Todas as categorias de APPs apresentaram a maior parte de suas áreas com Alta suscetibilidade natural à erosão, indicando que devem ter um manejo adequado, não só por suas funções intrínsecas à bacia hidrográfica, mas também por estarem em ambientes naturalmente frágeis.

A tendência de recomposição dos ecossistemas florestais, observada entre os anos estudados, indica estar havendo a desaceleração dos processos erosivos na maior parte das APPs da área de estudo.

Tanto a suscetibilidade natural à erosão, quanto o uso e cobertura do solo, nas diferentes categorias de APPs parecem estar vinculados às altitudes e declividades associadas das áreas em que estão situadas.

### **Agradecimentos**

À FAPESP pela concessão de auxílio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa; à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado, vinculado a este projeto, à Cibele Hummel do Amaral; ao Laboratório de Informática Geológica (LIG); ao Sistema de Informações Geográficas da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (SIG-RB); aos geólogos Herbert Schulz e Cassandra Maroni Nunes e ao geógrafo Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross, por suas contribuições nas discussões desta pesquisa.

### **Referências Bibliográficas**

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 set. 1965. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/L4771.htm>>. Acesso em: 19 mai. 2008.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas de Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 jun. 1984. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm)>. Acesso em: 15 mar. 2009.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução nº 302, de 20 de março de 2002a. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 mai. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30202.html>>. Acesso em: 15 mar. 2008.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução nº 303, de 20 de março de 2002b. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 mai. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 15 mar. 2008.

CARVALHO, C.M.; RIEDEL, P. S . Técnicas de Geoprocessamento aplicadas ao estudo da suscetibilidade a escorregamentos translacionais nos entornos dos polidutos de Cubatão - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1-8.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001. 103p.

HOTT, M.C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E.E. **Método para determinação automática em topo de morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento.** Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite, 2004. 32p.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33. n.1, p.159-74, 1977.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS DA BACIA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL. Disponível em: <<http://geolig.igc.usp.br/geoproc/sigrb/index.php>>. Acesso em: 20 mai. 2008.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <<http://geolig.igc.usp.br/geoproc/sigrb/index.php>>. Acesso em: 18 fev. 2009.