

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À RESTAURAÇÃO FLORESTAL E MANUTENÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIBEIRÃO DOS PINHEIRINHOS, BROTAS – SP

JÉSSIKA LUANE SILVA¹; KELLY CRISTINA TONELLO²; ROBERTA AVERNA VALENTE³ E RAFAEL MINGOTI⁴

¹ Eng. Florestal, Ms Ciências de Florestas Tropicais, Analista da Geopixel Soluções em Geotecnologia e TI, Av. Doutor Altino Bondensan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, 12247-016, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, jessikalusilva@gmail.com

² Eng. Florestal, Prof. Adjunto do Departamento de Ciências Ambientais, UFSCar, Rod. João Leme dos Santos, Km 110, 18052-780, Sorocaba, São Paulo, Brasil, kellytonello@ufscar.br

³ Eng. Florestal, Profa. Adjunta do Departamento de Ciências Ambientais, UFSCar, Rod. João Leme dos Santos, Km 110, 18052-780, Sorocaba, São Paulo, Brasil; roavalem@gmail.com

⁴ Eng. Agrônomo, Dr. em Ciências, Analista da Embrapa Gestão Territorial, Av. Soldado Passarinho n.303 Fazenda Chapadão, 13070-115, Campinas, São Paulo, Brasil, rafael.mingoti@embrapa.br

1 RESUMO

A ocupação das margens do Ribeirão dos Pinheirinhos gerou fragmentação da mata ciliar, afetando a dinâmica ambiental do município de Brotas, São Paulo. Neste sentido, os diagnósticos ambientais podem atuar como subsídio indispensável para ações de minimização dos impactos ao meio a médio e longo prazo. O objetivo do trabalho foi diagnosticar as áreas de preservação permanente associadas aos recursos hídricos da bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, visando à determinação de áreas prioritárias à restauração florestal e manutenção hidrológica. Foi utilizado um banco de dados cartográfico digital e o SIG IDRISI Andes para análise espacial e processamento de imagens de satélite LandSat. Foram gerados mapas de: (i) uso e cobertura do solo, pela aplicação do algoritmo de classificação supervisionada de máxima verossimilhança; (ii) uso e cobertura do solo nas áreas de preservação permanente associadas aos recursos hídricos; (iii) distância às nascentes; e (iv) áreas prioritárias à restauração florestal. Houve predomínio dos cultivos agrícolas e solo exposto (73,70%), restando apenas 23,14% de remanescentes florestais. Foi observado que 32,09% das áreas de preservação permanente estão ocupadas inadequadamente, indicando a necessidade de investimento para conservação dos remanescentes florestais, melhor planejamento quanto ao uso do solo e adequação à legislação por parte dos órgãos públicos responsáveis, uma vez que 68,45% da área total foi classificada com prioridade alta a muito alta à restauração, percentual que tende a aumentar com o avanço das fronteiras agrícolas.

Palavras-chave: geoprocessamento, hidrologia florestal, áreas de preservação permanente.

**SILVA, J. L.; TONELLO, K. C.; VALENTE, R. A.; MINGOTI, R.
DIAGNOSIS OF PERMANENT PRESERVATION AREAS AS A SUBSIDY TO FOREST
RESTORATION: RIBEIRÃO DOS PINHEIRINHOS WATERSHED, BROTAS – SP**

2 ABSTRACT

The occupation of Ribeirão dos Pinheirinhos caused fragmentation of riparian vegetation, affecting the dynamic environment of the city of Brotas, SP. In this sense, environmental diagnostics acts as an indispensable tool for actions intended to minimize these effects in the medium and long term. The objective of this study was to diagnosis permanent preservation areas (APP) in the basin of Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas - SP, in order to determine priority areas for forest restoration. We used a digital cartographic database and IDRISI Andes GIS for spatial analysis and image processing. Map and soil coverage was generated by the application of supervised classification algorithm for maximum likelihood, and the PPA's defined according to the Brazilian Forest Code, to identify their land use. It was subsequently generated a map of distance to the sources, which crossed the land resulting in the map of priority areas for forest restoration. Agricultural crops and bare soil (73.70%) predominate, leaving only 23.14% of remaining forest. It was observed that 32.09% of APP's are improperly employed. Thus, it is evident the need for investment for conservation of forest remnants, with better planning land use and adaptation to government agencies legislation, since 68.45% of the total area was classified as high to too high priority for restoration, a percentage that increases with the expansion of farming.

Keywords: GIS, Environmental Planning, Reforestation

3 INTRODUÇÃO

Ao longo da história do desenvolvimento sócio-econômico do Brasil, a atividade agropecuária intensiva sobre as áreas rurais alcançou grande dimensão nas diferentes regiões do país, resultando no uso inadequado dos recursos naturais e danos ambientais (GALVÃO & PORFÍRIO-DA-SILVA, 2005). O processo de uso e ocupação do solo gerou, além da fragmentação florestal, a adoção de um modelo insustentável em termos de manutenção dos recursos naturais existentes, baseado no monocultivo, manejo inadequado por falta de planejamento e instabilidade econômica (FERRAZ et al., 2009). Neste contexto encontra-se o município de Brotas, localizado na região central do Estado de São Paulo, o qual desde a década de 1920 sofre com o alto grau de apropriação do meio e seus recursos por meio da agricultura e turismo (ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BROTAS, 2006).

A paisagem do município é composta por áreas de escarpa repletas de nascentes e terrenos elevados, sendo um dos principais alvos da interferência humana no meio. Estes são explorados tanto pelo ecoturismo quanto pela agricultura, além de apresentar grande importância para o abastecimento da população regional. Para Aronson et al. (2011), os esforços de restauração florestal devem abordar os aspectos social, econômico, político, judicial, tecnológico e científico. Deste modo, o planejamento para manejo adequado considerando a conservação ambiental de suas bacias e recuperação de áreas degradadas e prioritárias torna-se essencial para a manutenção hidrológica desse sistema organizado e dinâmico (MARTINS, 2007). Em tal conjuntura encontra-se a bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, principal afluente da margem esquerda do Rio Jacaré-Pepira, onde a ocupação de suas áreas marginais, desde a década de 1940, ocasionou a redução de sua área de mata ciliar, restando atualmente apenas trechos fragmentados. A partir da década de 1990, notou-se que as atividades agrícolas ultrapassaram os limites impostos pela legislação

florestal vigente ao invadir áreas de preservação permanente (APPs), impróprias e não recomendadas para monocultivo, devido ao impacto ao ambiente e seus recursos. Em decorrência a esse uso inadequado, processos erosivos e de assoreamento do curso d'água foram desencadeados, bem como alteração da qualidade e quantidade de água drenada pelo ribeirão. Assim, essas áreas passam a não cumprir com sua função ambiental de proteção dos recursos hídricos, solo, paisagem, biodiversidade e bem estar humano (CARADORI, 2009), estabelecidas pela Lei Federal 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012).

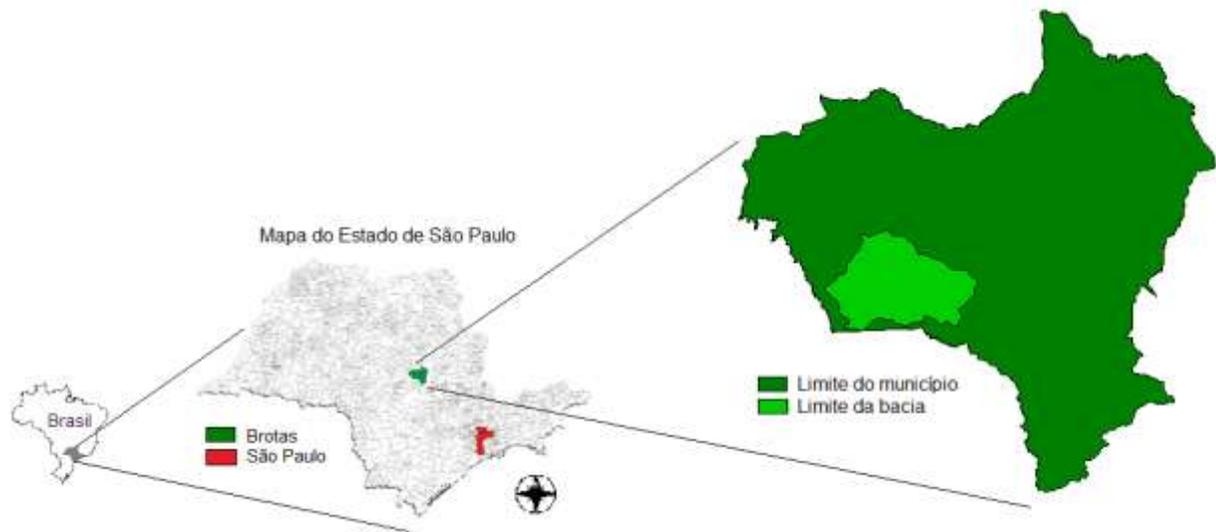
Tendo em vista que a identificação de áreas prioritárias e definição de ações estratégicas, em âmbito regional ou nacional, é o início do planejamento ambiental para a recuperação e conservação de recursos naturais, de modo a subsidiar a elaboração e implantação de políticas públicas de ordenamento territorial (NOSSACK et al., 2011), o presente estudo teve por objetivo diagnosticar as condições das áreas de preservação permanentes associadas à hidrologia da bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, no município de Brotas SP, de forma a determinar áreas prioritárias à restauração florestal e manutenção hidrológica.

O estudo em questão foi realizado a partir do comunicado verbal de insatisfação da população residente nas proximidades do Ribeirão dos Pinheirinhos, e que utiliza desse recurso para geração de trabalho e renda por meio do ecoturismo, bem como para abastecimento de água de suas propriedades. Nesse sentido, com base na revisão bibliográfica realizada, observou-se que a região como um todo apresenta um déficit em termos de estudos socioambientais que possam servir de subsídio ao uso adequado e manutenção dos recursos naturais ainda encontrados. Assim, houve certa limitação no presente estudo de informações científicas atuais que pudessem embasar a elaboração de um diagnóstico conforme as condições atuais da bacia como um todo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo se refere à Bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos ou da Cachoeira, localizada entre as coordenadas 48°15' – 48°00' W e 22°30' – 22°16' S no território de Brotas, Estado de São Paulo (Figura 1). Integrada à Bacia do Rio Jacaré-Pepira, afluente da margem direita do rio Tietê, a bacia apresenta uma extensão de 258 km², englobando 92,57 km² de terras do município de Brotas e 165,43 km² do município de Torrinha. A região é classificada como de Clima Subtropical Úmido (Cwa) (Köppen, 1948), apresentando inverno seco e verão chuvoso, com precipitação anual variando de 1100 a 1600 mm (GIOMETTI, 1999).

Figura 1. Localização da bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas - SP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Sobre o território do município há predominância de latossolos do tipo vermelho amarelo, seguido pelos neossolos quartzarênicos (areias quartzosas), mais suscetíveis à ocorrência de processos erosivos. Em menores porções são observados latossolos do tipo vermelho e férrico, argissolo, nitossolo, neossolo litólico e gleissolo (ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BROTAS, 2006).

O município de Brotas apresenta variado tipo de relevo: colinas amplas, médias, morrotes alongados e espigões (Serra de Brotas), além de escarpas festonadas. Por estar inserido na Bacia Sedimentar da Província do Paraná, seu relevo característico de planaltos tubulares e cuestas basálticas concêntricas drenam suas águas para os Rios Paraná e Uruguai. Estas cuestas possuem um patamar na base, onde existem os chamados Morros Testemunhos, os quais são isolados e têm destaque na planície. O outro patamar localiza-se no topo e pode chegar a 200 metros de altura. Na província geomorfológica das Cuestas Basálticas, o relevo é caracterizado como suave a ondulado (BROTAS, 2013).

O território encontra-se sobre as rochas associadas aos arenitos Botucatu (43,03%) e Pirambóia (28,67%), os quais são vinculados ao relevante sistema Aquífero Guarani (ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BROTAS, 2006).

A vegetação nativa é caracterizada por fragmentos de Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na escarpa da cuesta (BROTAS, 2013), Floresta Estacional Semidecídua, faixas de Cerradão no reverso da cuesta (GIOMETTI, 1999; GOMES et al., 2004) e floresta paludícola ou mata de várzea, que acompanham os cursos d'água (GOMES et al., 2004).

Foi utilizada a carta digital planialtimétrica do município de Brotas – SP, disponibilizada e elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, na escala 1:50.000 (IBGE, 2012) e os planos de informação (PIs): (1) Limite da área de estudo; (2) Rede hidrográfica; (3) Nascentes; e (4) Mapa de uso e cobertura do solo.

O mapa de uso e cobertura do solo foi gerado por meio da análise das imagens orbitais digitais, obtidas pelo sensor HRC a bordo do satélite CBERS 2B (CBERS, 2008), com resolução

espacial de 2,7 x 2,7 metros e passagem dia 25 de Agosto de 2008 (zona 156C/125_3) e pelo sensor TM do satélite LandSat 5 (LANSAT, 2008), passagem dia 10 de Setembro de 2008 (zona 220/75) e resolução espacial de 30 x 30 metros, ambas com 0% de nuvens e disponíveis gratuitamente junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Todos os P.I.s foram padronizados para a resolução espacial igual a carta digital planialtimétrica (1:50.000), no sistema de coordenadas Universal Transverso de Mercator (UTM) e Datum SAD69 Zona 22 Sul, que foi o padrão do banco de dados adotado para a área de estudo. Tanto os PIs quanto mapas geomorfológicos integram o banco de dados cartográfico da Secretaria do Meio Ambiente do município de Brotas, SP, disponibilizados em formato digital para serem empregados no projeto.

Nas operações de análise espacial e processamento digital de imagens foi empregado o software SIG-IDRISI versão Andes. Para as verificações de campo, referentes ao processamento digital das imagens de satélite, foi empregado um receptor GPS (Global Positioning System).

O limite da bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos foi delimitado com base na carta digital planialtimétrica do IBGE, considerando como restrição os limites do município de Brotas, SP, uma vez que a bacia engloba outros municípios.

O plano de informação de uso e cobertura do solo foi gerado por meio do processamento digital das imagens orbitais, seguindo as etapas descritas a seguir:

(A) Pré-processamento das imagens: foram realizadas as correções atmosféricas e geométricas. Para a correção atmosférica foi utilizado o *Princípio da Reflectância Zero*, descrito por Quintanilha (1990). Para tanto, avaliou-se os histogramas das imagens, identificando os pixels que deveriam apresentar valores de reflectância nula, os quais foram reclassificados para apresentarem valores digitais iguais à zero. Para correção geométrica foi utilizado o modelo de transformação polinomial de primeiro grau e o método de interpolação do vizinho mais próximo, tendo por base uma amostragem de pontos reais (base cartográfica georreferenciada – Carta IBGE) e as imagens digitais (sem georreferenciamento);

(B) Definição das classes de uso e cobertura do solo: com auxílio de visitas à campo, mapeamentos já existentes e análise de imagens de satélite (Composição bandas LandSat e Google Earth), foram identificadas as categorias de uso e cobertura do solo do município, para processamento e composição do mapa final;

(C) Definição das amostras de treinamento: foram digitalizados polígonos em tela, sobre as áreas que representam as classes de uso e cobertura previamente identificadas. Foi estatisticamente definido o número de pixel amostrado por classe de uso e cobertura do solo, conforme proposto por Valente e Vettorazzi (2003);

(D) Aplicação do algoritmo de classificação supervisionada: empregou-se o algoritmo de máxima verossimilhança (MAXVER), cuja conceituação matemática foi estabelecida por Swain e Davis (1978);

(E) Verificação da exatidão de classificação: realizada por amostragem (estratificada ao acaso), teve por base informações de campo e as próprias imagens de satélite. O número de amostras foi determinado como proposto por Eastman (1995) e empregado por Valente e Vettorazzi (2005), possibilitando a análise comparativa amostral entre a imagem e o campo (real). A partir disso, realizou-se o cálculo do índice Kappa (K), que tem por base uma matriz de erros ou matriz de confusão. A matriz indica os pontos coincidentes entre as categorias definidas e a verdade terrestre, permitindo o cálculo do percentual de coincidência global e de cada classe. Determinação estatística do número de amostras como proposto por Eastman (1995):

$$N = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2}; e \quad A = \frac{N}{a} \quad (1)$$

Sendo:

Z = valor padrão para um nível de confiança específico (no caso 85%); N = número de amostras; p = percentual de exatidão esperado; q = 100 – p; A = número de amostras para a área de estudo; e a = área de estudo (proporção).

(F) Tratamento pós-classificação: foram feitas as alterações necessárias pós-verificação de campo e aplicado filtro de média 3x3, para atenuar presença de pixels isolados, comuns em produtos de classificação com o algoritmo MAXVER.

Toda a bacia hidrográfica foi percorrida in loco a fim de reconhecimento e confirmação de seus detalhes a respeito do uso do solo e conservação.

Quanto às faixas de preservação permanente, são várias as categorias de APPs estabelecidas pela Lei Federal nº 12.651 de 2012, Art. 4º. Contudo, de acordo com o objetivo desse estudo optou-se por destacar as faixas associadas aos cursos d'água e nascentes. Sendo assim, uma vez que a largura do Ribeirão dos Pinheirinhos varia entre 10 e 50 metros, definiu-se uma faixa de 50 metros para todo o curso d'água. Tal definição deu-se devido à indisponibilidade de medição em campo e identificação da largura do Ribeirão ao longo de toda sua extensão. A mesma largura foi considerada para nascentes e reservatórios naturais.

A combinação entre os mapas, com as faixas de preservação permanente associadas aos recursos hídricos e o mapa de uso e cobertura do solo, permitiu identificar a ocupação do solo destas faixas, bem como quantificá-la por categoria (hectare). Dessa forma, obteve-se o percentual da faixa de preservação permanente que é efetivamente ocupado por vegetação nativa.

Na escolha dos critérios e pesos para definição das áreas prioritárias à restauração florestal associadas aos recursos hídricos da bacia, empregou-se a Técnica Participatória proposta por Eastman (2001) e aplicada por Valente e Vettorazzi (2005) e Sartori (2012), reunindo especialistas das diversas áreas de interesse do projeto. Os critérios elencados foram: uso e cobertura do solo, proximidade às nascentes. Para tanto, foram necessárias as seguintes etapas:

1. Geração de mapa com distância às nascentes, sendo o limite a área de estudo.
2. Normalização dos valores de distância para uma escala variando de 0 a 255 bytes, atribuindo maiores valores na escala para menores distâncias às nascentes, com vista a ressaltar sua importância para a produção de água em quantidade e qualidade. Assim, quanto mais próximo às nascentes, maiores os valores na escala indicando maior prioridade à restauração florestal. Este procedimento é empregado quando se pretende combinar mapas que apresentam diferentes escalas de medidas (metros, porcentagem, etc.) ou critérios diversos, como no presente projeto (uso e cobertura do solo e proximidade às nascentes). No SIG IDRISI, essa padronização pode ser feita de maneira simples com uma operação de contraste linear, conforme proposto por Voogd (1983) e utilizado por Valente e Vettorazzi (2005) e Nossack et al. (2011).

3. A normalização do PI uso e cobertura do solo seguiram o mesmo critério. Com a aplicação da Técnica Participatória proposta por Eastman (2001), foram ranqueadas as categorias de acordo com a seguinte prioridade à restauração florestal: pastagem e solo exposto > cultivo de cana-de-açúcar > cultivo de citrus > floresta plantada > vegetação nativa. Dessa forma, os usos e coberturas do solo foram padronizados para a escala comum, sendo associados aos maiores valores aqueles com maior “nível de prioridade” à restauração.

4. Tabulação cruzada (junção) entre os PIs uso e cobertura do solo e distância às nascentes, previamente normalizados. Este PI se constitui no mapa de áreas prioritárias à restauração florestal. Assim, os valores mais próximos às nascentes e associados a usos do solo mais críticos em termos de conservação, considerando as categorias de prioridade ranqueadas anteriormente, estão associados aos maiores valores da escala (0 a 255 bytes).

5. Definição de classes de prioridades: o mapa de áreas prioritárias (escala 0 a 255 bytes) foi reclassificado em cinco classes de prioridades à restauração florestal: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Autores como Valente e Vettorazzi (2005), Francisco et al., (2007), Cantinho et al. (2010), entre outros, utilizaram as mesmas classes de prioridades, sendo o intervalo de cada uma delas determinado a partir da avaliação do histograma do mapa (na escala 0 – 255 bytes).

A partir de todo o material gerado e avaliado quanto ao uso do solo, sua localidade e adequação às condições da bacia e APPs, e áreas prioritárias à restauração florestal da bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, foi composto um banco de dados digital e impresso, disponibilizado à Secretaria do Meio Ambiente do município de Brotas e comunidade local interessada. A sistematização desse material teve como propósito subsidiar ações corretivas por parte de ambos, para melhoria das condições florestais da região, por meio de processos de recomposição dos ecossistemas ciliares locais e projetos futuros de planejamento ambiental, aptidão e uso adequado do solo, praticamente inexistentes para a região.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise do mapa de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão dos pinheirinhos (Figura 2a), observou-se o predomínio do cultivo agrícola e pastagem sobre os demais usos do solo na bacia, representando uma ocupação de 73,70% da área total contra apenas 23,14% de remanescentes de floresta nativa. Somente o cultivo de cana-de-açúcar atinge 3497,85 ha, referentes a 37,78% da área total, se sobressaindo frente a pequenos cultivos de citrus (6,84%) e floresta plantada (0,51%) existentes na região (Tabela 1).

A hidrografia, composta pelo ribeirão, nascentes e reservatórios naturais, representa 3,15% da área total da bacia. Observa-se na Figura 2a que os fragmentos florestais remanescentes concentram-se nas proximidades do ribeirão, em decorrência principalmente do avanço das fronteiras agrícolas em algumas áreas, e em outras pela dificuldade de uso e ocupação devido ao relevo acidentado.

Ao analisar as classes de uso, são observadas áreas de pastagem e solo exposto nas proximidades dos cultivos agrícolas (cana-de-açúcar e citrus), caracterizando, provavelmente, solos com antiga utilização pela agricultura e outras atividades antrópicas, e que agora se deparam com degradação e erosão do solo. Observaram-se ao longo da bacia, áreas em que a falta de cobertura vegetal protegendo o solo somada às condições de declividade do terreno geraram um processo erosivo. Essa erosão acaba por atingir a margem do ribeirão, cujo solo exposto pela ausência de mata ciliar favorece o processo de assoreamento do curso d'água. Além disso, observou-se pisoteio de gado em algumas áreas da margem do ribeirão, o que agrava ainda mais o processo de assoreamento.

Tabela 1. Quantificação da área ocupada por cada categoria de uso e cobertura do solo na área total da Bacia Ribeirão dos Pinheirinhos e dentro dos limites das APPs associadas aos recursos hídricos.

| Uso e cobertura do solo | Área Total da Bacia | | Dentro dos Limites das APPs associadas aos recursos hídricos | |
|---------------------------|---------------------|---------------|--|---------------|
| | (ha) | (%) | (ha) | (%) |
| Cultivo de cana-de-açúcar | 3497,85 | 37,78 | 120,51 | 15,51 |
| Pastagem e solo exposto | 2645,01 | 28,57 | 89,37 | 11,50 |
| Vegetação nativa | 2141,82 | 23,14 | 527,49 | 67,91 |
| Cultivo de citrus | 633,69 | 6,84 | 21,06 | 2,71 |
| Rede hidrográfica | 291,18 | 3,15 | - | - |
| Floresta plantada | 47,25 | 0,51 | 18,36 | 2,36 |
| Total | 9257,13 | 100,00 | 776,79 | 100,00 |

Esse cenário também foi observado em estudo realizado por Ciciliato e Piroli (2012), os quais avaliaram os fragmentos florestais das APPs no baixo curso do rio Tibagi, divisa entre os Estados do Paraná e São Paulo. Os autores observaram intensa atividade agropecuária levando ao uso indiscriminado do solo, erosão e desmatamento, além da presença de áreas urbanizadas bem próximas aos cursos d'água, gerando impactos consideráveis na estrutura da bacia.

A efetiva ocupação e adequação das APPs da Bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos na faixas de preservação permanente associadas aos recursos hídricos (Figura 2b), indica que a categoria de vegetação nativa (mata ciliar) apresentou o maior percentual de ocupação (67,91%) comparada às demais categorias de uso do solo (Tabela 1). Verificou-se ainda a presença de 32,09% com agricultura e pastagem, o que indica a necessidade de adequação.

Com relação à qualidade do produto gerado por esse estudo, o mapeamento obteve um acerto global (coincidência entre o mapa temático e a verdade terrestre) de 94,28%, percentual considerado acima do aceitável (85%) por Anderson (1979), e um índice Kappa (K) global igual a 0,97, pertencente à classe de qualidade de classificação excelente, definida e proposta por Landis e Koch (1977), citados por Valente e Vettorazzi (2003). A alta exatidão de classificação para as classes pastagem e solo exposto, cultivo de cana-de-açúcar e floresta nativa estão relacionados à facilidade de diferenciação e identificação dos pixels da imagem por parte do software, para cada classe de uso definida. Para as classes cultivo de citrus, floresta plantada e rede hidrográfica, o acerto foi de 100%, justificado pelo pequeno número de pontos amostrados para verificação da exatidão, uma vez que apresentam áreas reduzidas.

Ao analisar o mapa de áreas prioritárias à restauração florestal (Figura 2c) e a quantificação da área ocupada por cada uma das classes de prioridade (Tabela 2), é possível inferir sobre o alto grau de degradação da bacia estudada. Apenas 24,90% da área apresentam de baixa a muito baixa prioridade, concentradas nas áreas restantes de floresta nativa próximas ao curso d'água.

Tabela 2. Quantificação da área ocupada por cada classe de prioridade da bacia Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas,SP.

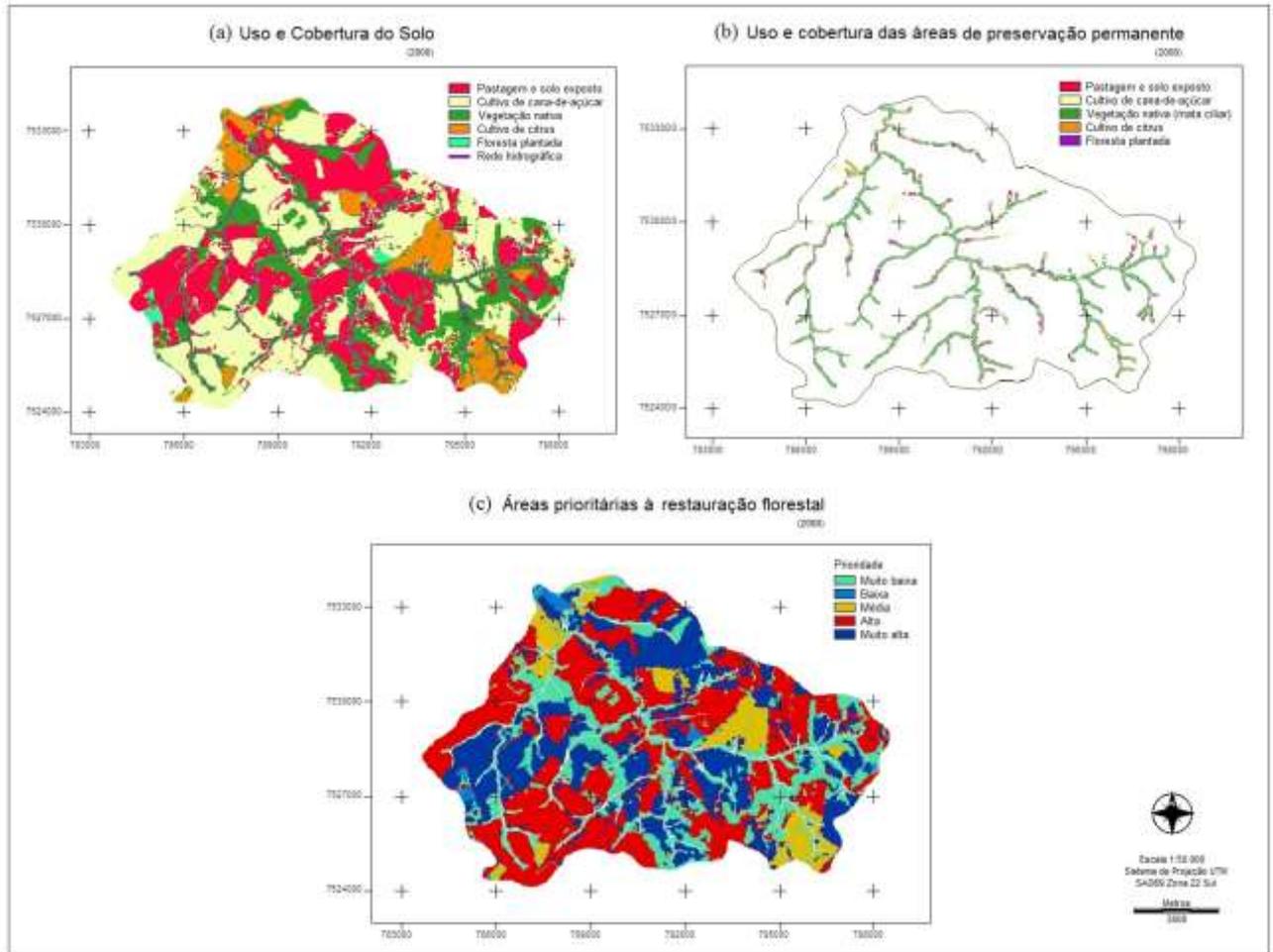
| Nível de prioridade | Área | |
|---------------------|----------------|---------------|
| | (ha) | (%) |
| Muito baixa | 2141,82 | 23,89 |
| Baixa | 90,81 | 1,01 |
| Média | 595,98 | 6,65 |
| Alta | 3652,29 | 40,74 |
| Muito alta | 2484,72 | 27,71 |
| Total | 8965,62 | 100,00 |

As áreas classificadas de média prioridade (6,65%) apresentam solo um pouco mais coberto, em sua maioria com cultivo de citrus e ausência de uso do fogo, como no caso dos cultivos de cana-de-açúcar. Já as áreas com nível alto (40,74%) e muito alto (27,71%) de prioridade estendem-se por toda a bacia, principalmente nas áreas onde o solo possui menor cobertura e pontualmente nas proximidades das nascentes. Onde há menor cobertura vegetal, como em pastagens e cultivos de cana-de-açúcar, o solo encontra-se mais propenso à erosão aluvial. Já nas proximidades das nascentes, deve haver preocupação quanto à produção de água em quantidade e qualidade, que pode ser garantida por meio da restauração da mata ciliar onde a mesma encontra-se ausente e conservação de sua estrutura florestal.

É possível identificar ainda muitos trechos em que áreas de alta prioridade à restauração florestal fazem divisa com áreas de baixa prioridade, o que representa o avanço dos cultivos agrícolas sobre áreas que devem ser preservadas legalmente, como as matas ciliares.

Neste sentido, a necessidade de priorização da recuperação da vegetação ao longo dos cursos d'água e nascentes é evidente, uma vez que apresentam funções ambientais indispensáveis para o equilíbrio da dinâmica ambiental, como proteção dos recursos hídricos já ressaltada, podendo ainda atuar como corredores biológicos, para interligação de fragmentos e manutenção do fluxo gênico (CANTINHO et al., 2010). A recuperação da biodiversidade e redução dos processos erosivos é favorecida pelo estabelecimento desses corredores (CICILIATO; PIROLI, 2012). Assim, o reestabelecimento da estrutura e funções do ecossistema é facilitado (MORAES et al., 2010).

Figura 2. (a) Mapa de uso e cobertura do solo; (b) Mapa de uso e cobertura do solo das APPs; e (c) Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal na bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas – SP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação aos níveis de prioridade à restauração de acordo com o uso e cobertura do solo, Francisco et al. (2007) também aplicaram em seus estudos maior prioridade à restauração de APPs cobertas com uso do solo exposto, culturas anuais e proximidade às nascentes, sucessivamente, estando as áreas com vegetação nativa nas classes de baixa prioridade. Considerando que 68,45% da área da Bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos foi classificada com nível alto a muito alto de prioridade à restauração florestal, com predomínio de áreas em processo e estado de degradação, torna-se clara a necessidade de investimento em estudos e ações para restauração florestal e recomposição desse ecossistema. Para tanto, deve haver um enfoque na conservação dos recursos hídricos em termos de qualidade e quantidade, proteção do solo e manutenção da dinâmica ambiental. Uma alternativa seria o melhor planejamento quanto ao uso do solo e adequação ao limite e composição das APPs indicado pela legislação vigente, uma vez que esse percentual tende a aumentar cada vez mais com o avanço das fronteiras agrícolas.

6 CONCLUSÃO

A bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, no município de Brotas – SP tem condições inadequadas em termos ambientais quanto às suas áreas de preservação permanente associadas aos recursos hídricos, considerando as especificações da Lei 12.651 de 2012, pois 32,1% das APPs encontra-se ocupada por cultivos agrícolas e pastagens e solo exposto, sendo essas duas classes predominantes em 73,7% da área total da bacia, restando apenas 23,1% de remanescentes florestais.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa, à Secretaria do Meio Ambiente do município de Brotas – SP pelo apoio e material disponibilizado e à Prof^a Dra. Roberta de O. A.Valente pelo auxílio nas técnicas de geoprocessamento.

8 REFERÊNCIAS

ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITMER, R.E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Washington: USGS, 1979. 28p.

ARONSON, J.; BRANCALION, P. H. S.; DURIGAN, G.; RODRIGUES, R. R.; ENGEL, V. L. ; TABARELLI, M.; TOREZAN, J. M. D. ; GANDOLFI, S.; MELO, A. C. G. ; KAGEYAMA, P. Y. ; MARQUES, M. C. M.; NAVE, A. G.; MARTINS, S. V.; GANDARA, F. B.; REIS, A.; BARBOSA, L. M.; SCARANO, F. R. What role should government regulation play in ecological restoration? Ongoing debate in São Paulo State, Brazil. **Restoration Ecology**, Malden: Wiley-blackwell, v. 19, n. 6, p. 690-695, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/6243>>

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo Código Florestal Brasileiro. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 mai. 2012. Capítulo I, p. 02.

BROTAS. Prefeitura Municipal. **Aspectos geofísicos**. Disponível em: <http://www.brotas.sp.gov.br/page.php?p=aspectos_geofisicos.php>. Acesso em: 21 jun. 2013.

CANTINHO, R. Z.; GAMA, V. F.; PONZONI, F. J. Definição de áreas prioritárias para restauração florestal no Vale do Paraíba. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 9., 2010, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUFEP/UNICENTRO, p.626-633.

CARADORI, R. C. **O Código Florestal Brasileiro e a legislação extravagante: A Teoria e a Prática da Proteção Florestal**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2009. v. 1. 256 p.

CBERS 2B: imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. 1 fotografia aérea. Escala 1:100.000. Níveis de cinza.

CICILIATO, R. N.; PIROLI, E. L. Análise e avaliação dos fragmentos florestais de áreas de preservação permanente no baixo curso do Rio Tibagi em imagens de satélite e geoprocessamento. **Revista Geonorte**, edição especial. Manaus, v. 3, n. 4, p. 573-582, 2012.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. **IDRISI 32** release 2: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v. 2, p. 22.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multicriteria/multiobjective decisions. **Photogrammetry Engineering and Remote Sensing**, New England Chapter, Worcester, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

FERRAZ, S. F. de B.; PAULA, S. R. de; VETTORAZZI, C. A. Incorporação de indicadores de sustentabilidade na priorização de áreas para restauração florestal na Bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 937-947, 2009.

FRANCISCO, C. E. da S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2643-2650.

GALVÃO, A. P. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 139 p.

GIOMETTI, A. B. dos R. **As condições ambientais da Bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos e sua inserção no Município de Torrinha**. Torrinha: Prefeitura Municipal de Torrinha, 1999.

GOMES, B. Z.; MARTINS, F. R.; TAMASHIRO, J. Y. Estrutura do cerradão e da transição entre cerradão e floresta paludícola num fragmento da International Paper do Brasil Ltda., em Brotas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo: SBSP, v. 27, n. 2, p. 249-262, 2004.

IBGE. Base cartográfica integrada digital do Brasil. Brotas – SP. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/topograficos/escala_50mil/vetor/brotas27054/> Acesso em: Fevereiro, 2012.

LANDSAT TM 5: imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. 1 fotografia aérea. Escala 1:100.000. Canais 3, 4 e composição colorida 3, 4 e 5. MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. 2. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Ed. Aprenda Fácil, 2007. 255 p.

MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, v. 14, n. 2, p. 437-451, 2010.

NOSSACK, F. A.; SARTORI, A. A. da C.; SILVA, R. F. B. da; MORAES, D. de C. A.; ZIMBACK, C. R. L. Definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal visando

conectividade entre fragmentos: análise multicriterial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4062.

QUINTANILHA, J. A. **Erros em bases digitais de dados especiais para uso em sistemas de informação geográfica.** 1990. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. L. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, Dec. 2012.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**, McGraw-Hill, New York. 1978.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 196, p. 1-13, maio 2003.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Comparação entre métodos de avaliação multicriterial, em ambiente SIG, para a conservação e a preservação florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba: IPEF, n. 69, p. 51-61, dez. 2005.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning.** London: Pion, 1983. p. 125.

ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BROTAS. **Subsídios ao planejamento territorial:** relatório final. Brotas: Fator Ambiental Consultoria e Treinamento Ltda, fev. 2006.