ESPAÇO EM REVISTA
ISSN: 1519-7816

DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARI (SP) A PARTIR DOS MUNICÍPIOS DE ABRANGÊNCIA

Natasha Marques de Paula Santos
Mestranda em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas
E-mail: natashamarqques@gmail.com

Raul Reis Amorim
Professor Livre Docente do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
E-mail: raulreis@unicamp.br

Ulises Magdalena Rodrigo
Doutorando em Geografia na Universidade Estadual de Campinas
E-mail: ulisesrodrigo@id.uff.br

Resumo
As áreas de proteção permanente inseridas na categoria internacional de áreas protegidas apresentam importantes funções eco hidrológicas, como a estabilidade geológica, manutenção ecossistêmica, garantia do bem-estar humano e conservação hídrica. No Brasil, são definidas pela Lei n. 12.651/2012 que, após ser reformulada, vêm apresentando significativas mudanças. Com a expansão das cidades e das atividades antrópicas, torna-se relevante, nesse sentido, trabalhos correlatados a identificação dessas áreas por mapeamento com a finalidade de obter-se conhecimento sobre o território para a adoção de políticas públicas. Assim, a pesquisa objetivou delimitar essas áreas protegidas do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari e caracterizar os conflitos de uso e ocupação da terra por meio dos Sistemas de Informação Geográfica e da adoção de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente. Como resultado, desafios foram encontrados como subjetividades na Lei nº12651/2012 e a necessidade do estabelecimento de padrões nos critérios para delimitação das áreas protegidas.

Palavras-chave: Áreas protegidas; Código florestal; Uso e ocupação da terra; Conservação dos recursos hídricos.

DELIMITATION OF PROTECTED AREAS OF JAGUARI RIVER UPPER WATERSHED (SP) FROM THE MUNICIPALITIES COVERED

Abstract
Permanent protection areas included in the international category of protected areas have important eco-hydrological functions, such as geological stability, ecosystem maintenance, guarantee of human well-being and water conservation. In Brazil, they are defined by Law number **12.651/2012** which after being reformulated have presented significant changes. With the expansion of cities and human activities, it becomes relevant researches related to the identification of these areas by mapping to obtain knowledge about the territory for the adoption of public policies. Thus, the research aimed to delimit the protected areas of Jaguari river upper watershed and characterize the conflicts of land use and occupation through Geographic Information Systems and the adoption of a Hydrologically Consistent Digital Elevation Model. As a result, some challenges were found as subjectivities in Law number 12651/2012 and the necessity to establish standards in the criteria for the delimitation of protected areas.

Keywords: Protected areas; Forest code; Land use and occupation; Water resources conservation.

Introdução

As metas de conservação ambiental demonstram-se como um desafio à sociedade, marcada por ações com o objetivo de mitigar os impactos dos eventos extremos e fornecer bem-estar as necessidades humanas. Dentre esses desafios, cabe-se destacar as questões políticas, sociais, culturais, econômicas e os conflitos resultantes da interação entre sociedade e natureza (MASULLO, GURGEL e LAQUES, 2019), além da existência de distintas diretrizes, legislações e sistemas normativos ambientais e nomenclaturas que muitas vezes não são convergentes em diferentes territórios (PELLIZZARO *et al*, 2015).

Como exemplo de tentativa de atingir metas conservacionistas no contexto internacional, a Unidade Internacional de Conservação da Natureza (UICN) criou as áreas protegidas como forma estratégica associada a conservação do patrimônio natural e cultural do planeta (DIEGUES, 2000). Em sua definição, essas áreas são entendidas como "um espaço geográfico claramente definido, reconhecido, dedicado e administrado, por meios legais ou outros meios eficazes, para alcançar a conservação de longo prazo da natureza com os serviços ecossistêmicos e valores culturais associados" (IUCN 2008 < https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about >).

No caso do Brasil, essas áreas foram incorporadas em categorias nacionais como as Áreas de Preservação Permanente, instituídas pelo Código Florestal (Lei n. 4.771/1965), as quais atualmente são definidas pela Lei n. 12.651/2012 como "área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas" (BRASIL, 2012). Foram ainda classificadas de acordo com tipologias como áreas protegidas em nascentes; em cursos de água; lagos e lagoas; em reservatórios de água artificial; em manguezais; em veredas; em restingas; em bordas de chapadas ou tabuleiros; em encostas, em topo de morros e em áreas superiores a 1.800 m; cada uma com seus respectivos parâmetros de delimitação segundo legislação.

Entretanto, apesar de apresentar um robusto conjunto de leis ambientais dedicadas à proteção dessas áreas incorporadas principalmente a partir de 1930, desde 2012, no Brasil, teve-se como marco a reformulação do Código Florestal (Lei n. 12.651/2012), o qual

estabeleceu novos parâmetros e critérios para a determinação das áreas protegidas.

Dessa maneira, a partir do contexto dos marcos legais e jurídicos e do reconhecimento de órgãos internacionais como a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) de que as áreas protegidas são importantes para o alcance da conservação da natureza ao longo dos anos (DUDLEY, 2008), além de sua importância ecossistêmica e para um desenvolvimento sustentável (HUMMEL *et. al.,* 2009), essa pesquisa buscou delimitar as áreas de proteção permanente do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari (São Paulo) por meio do uso de Sistema de Informação Geográfica e da geração de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Além disso, procurou-se caracterizar os conflitos no que se refere ao uso e ocupação da terra nessas áreas.

A seleção da unidade de estudo da bacia hidrográfica, considerou a Política Nacional dos Recursos Hídricos, a qual criou os Comitês de Bacias Hidrográficas e definiu a bacia hidrográfica como uma unidade territorial para sua implementação (BRASIL, 1997). Assim, os bens públicos naturais passaram a ser discutidos em colegiados, como no caso das áreas de proteção permanente definidas pelo Código Florestal. Para tanto, trabalhos como os de Gontijo *et al* (2019), Oliveira e Francisco (2018) e Gonçalves (2009) os quais realizaram mapeamentos a partir dessa unidade territorial serviram de apoio à pesquisa.

Ademais, como as áreas protegidas apresentam vínculo a conservação dos recursos hídricos, já que o Código Florestal assume como alguns de seus objetivos a proteção florestal, da biodiversidade, do solo e da água para o bem-estar de futuras gerações (BRASIL, 2012), é importante reconhecer as irregularidades com a finalidade de se reduzir os impactos antrópicos a essas áreas protegidas e evitar perdas naturais como de solos e da biodiversidade, que com a remoção da vegetação podem ocasionar o assoreamento de corpos hídricos e comprometer a manutenção ecossistêmica, bem como as perdas econômicas resultantes do dispêndio financeiro ocasionado em situações de eventos extremos.

Whately e Cunha (2007) e Morais (2010), por exemplo, observaram alterações antrópicas no Sistema Cantareira e no entorno do reservatório artificial Jaguari-Jacareí, ambos contemplados na área estudada. Esse contexto pode reforçar a necessidade da presença da vegetação Silva (2012), bem como uma gestão e planejamento de atividades (HOEFFEL, 2008) na área estudada, o que pode ser possível a partir dos trabalhos de mapeamento com a finalidade de conhecer-se e planejar as atividades no território.

Dessa maneira, a partir da delimitação das áreas protegidas e caracterização dos conflitos de uso e ocupação, a pesquisa encontrou subjetividades nos parâmetros de

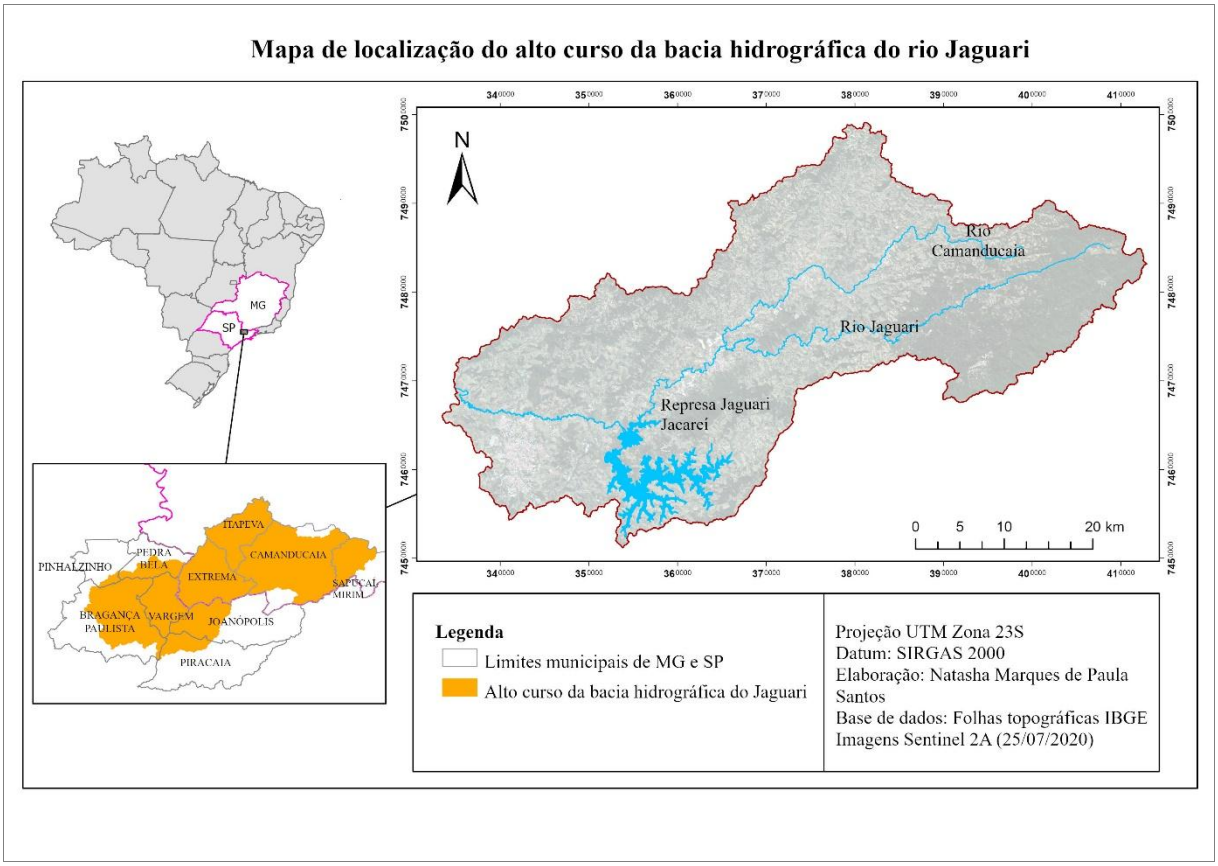
delimitação de algumas APP. Além disso, alguns desafios observados tangenciaram o nível de detalhamento dos dados, o que pode vir a acarretar diferentes resultados.

Materiais e métodos

Caracterização da área de estudo

O alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari, situado nos estados de Minas Gerais e São Paulo, abrange uma área correspondente a 1.658,06 km² e contempla cerca de dez municípios, de forma parcial e total, em constante crescimento populacional, industrial e urbano (IBGE Cidades, s.d).

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte: autoria própria

A área apresenta topografias variáveis com altitudes entre 600 a pouco mais de 2000 metros, com um relevo caracteristicamente acidentado do domínio morfoclimático dos mares de morros proposto por Ab' Sáber (1966). Assim, a superfície demonstra vertentes acentuadas e feições mamelonares, com planícies meândricas e finos depósitos aluviais, além da presença das florestas tropicais biodiversas com a protuberância das araucárias e de cerrados, os quais

recobrem os morros e escarpas (AB'SÁBER, 2003).

As rochas predominantes são do embasamento cristalino, como os gnaisses e os granitos, que favorecem a ocorrência dos vales encaixados pela decomposição das rochas cristalinas por intemperismo químico e erosão diferencial. Tais características geomorfológicas e geológicas, possibilitam a ocorrência de drenagem do tipo dendrítica, isto é, os canais apresentam-se em direções diversas e formam ângulos agudos de granulações variadas (IBGE, 2009). Além disso, na porção mineira que apresenta as mais elevadas altimetrias, encontra-se o maior contingente de nascentes originadas em decorrência do afloramento do lençol freático que perpassa as zonas de fraturas das rochas cristalinas.

O padrão hidrológico que é determinado geologicamente e pelas condições climáticas na região, a qual apresenta grande disponibilidade hídrica devido aos regimes pluviométricos bem-distribuídos ao longo do ano com clima subtropical de altitude, temperaturas médias de 22ºC e a pluviometria total anual média de 1489 mm (IRRIGART, 2007), associa-se também a presença dos Argissolos. Esse tipo de solo com ocorrência em relevos mais acidentados pode estar mais suscetível aos processos erosivos devido à relação textural entre os horizontes e consequentemente as distintas capacidade de infiltração da água (ZARONI; SANTOS, s.d.).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, s.d.) ainda, é uma importante área para o abastecimento hídrico da região metropolitana do estado de São Paulo, visto que faz parte do Sistema Cantareira, o qual abastece aproximadamente 46% da Região Metropolitana de São Paulo. O reservatório Jaguari-Jacareí, situado nos municípios de Bragança Paulista, Joanópolis, Piracaia e Vargem, é um dos cinco reservatórios dentro desse sistema.

Desenvolvimento do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)

Para atendimento das propostas da pesquisa foi adotada a escala 1:50.000 e as folhas topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística) como base para os estados de São Paulo e Minas Gerais. Assim, foram vetorizadas as curvas de nível, os pontos cotados e a rede hidrográfica no software ArcGIS Pro.

De forma antecedente a delimitação das APP foi gerado um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente, utilizado como método, que contou com o uso dos dados referentes à elevação — curvas de nível, pontos cotados e hidrografia — os quais foram

interpolados para obter-se a adequada definição do relevo. Segundo Hutchinson (1989), a adoção de um modelo hidrologicamente consistente permite o uso de arquivos vetoriais diversos como curvas de nível, delimitação de rios, lagos, bacias hidrográficas, contornos de penhascos e arquivos de pontos como as nascentes e pontos cotados, o que possibilita menor incidência de erros durante o processo de interpolação dos dados.

Assim, dispondo dos dados mencionados e após determinar a dimensão da célula de saída, o MDEHC foi gerado com o uso do algoritmo de interpolação *topo to raster* do ArcGIS Pro. Foi necessária também a orientação dos arcos da rede de drenagem no sentido de escoamento até a foz e, para isso, utilizou-se a ferramenta *flow direction*.

No entanto, erros decorrentes dos dados de entrada ou inseridos para a realização da interpolação são comuns, conforme Tribe (1992) e García e Camarasa (1999), originando as depressões espúrias as quais ocasionam uma interrupção no escoamento superficial. Esses erros precisam ser retirados para que seja obtido um modelo hidrológico consistente e foram extraídos usando o comando *fill* para preenchimento das depressões.

Delimitação das APP e sobreposição das classes de uso e ocupação da terra

As APP em nascentes são definidas enquanto "as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros" (BRASIL, 2012). Entretanto, apesar das controversas em relação a definição de nascente e a possibilidade de o resultado do mapeamento automático não corresponder a uma real nascente, o que pode ser considerado um fator limitante, para sua delimitação foram consideradas que as nascentes referiam-se aos pontos de "afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água" (BRASIL, 2012).

Assim, foi preciso que todos os pontos representativos das nascentes estivessem dissolvidos em uma única linha na tabela de atributos representando os pontos e, para isso, utilizou-se a ferramenta *dissolve*. Após essa etapa, as APP foram geradas pelo comando *buffer* a partir de um raio de 50 metros ao entorno das nascentes, como realizado por Gonçalves (2009).

No caso da geração das APP em cursos d'água definidas como "as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular" (Lei n.12.651/2012), foi necessário medir os trechos que

apresentavam corpos d'água poligonais pois as larguras das APP variam de acordo com a metragem do curso d'água. Para isso, utilizou-se a ferramenta *measure*.

No caso da área de estudo, os cursos d'água compreendiam dois tipos: aqueles com menos de dez metros de largura, que deviam apresentar APP de 30 metros e os cursos d'água com largura superior a dez metros e até cinquenta metros que deveriam apresentar APP com 50 metros. Para delimitar essas áreas gerou-se então *buffers* de 30 metros e 50 metros, a depender da largura do curso d'água.

A delimitação das APP em lagos e lagoas e reservatório artificial seguiu os mesmos parâmetros, em que se gerou um *buffer* de acordo com a metragem da área da lagoa, lago ou reservatório. A lei prevê que devem ser consideradas largura de 100 metros em zonas rurais para lagos e lagoas maiores que 20 hectares e 30 metros para aqueles situados em zonas urbanas. No caso do reservatório de água artificial decorrente do represamento de curso d'água natural, foi gerado um *buffer* delimitado com 15 metros ao entorno da Represa Jaguari-Jacareí conforme o previsto na Lei n. 12.727/2012 para APP em reservatório.

Após essa etapa, a partir do MDEHC já elaborado foram realizados os procedimentos para a geração das APP em encostas consideradas como "as encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive" (Lei n. 12.651/2012). Assim pelo comando *slope* na *Spatial Analyst Tools*, gerou-se o mapa de declividade e com a ferramenta *reclassify* foram delimitadas as APP correspondentes. Assim como as APP em declividade, as APP superiores a 1.800m também contaram com o MDEHC, no entanto, com a reclassificação das altimetrias conforme a metragem disposta em lei.

Por fim, para a delimitação das APP em topos de morro adotou-se a metodologia de Oliveira e Fernandes Filho (2013) com adaptações de Pietzsch (2013). Esse tipo de APP foi definida como aquelas presentes

> no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25º , as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação (BRASIL, 2012).

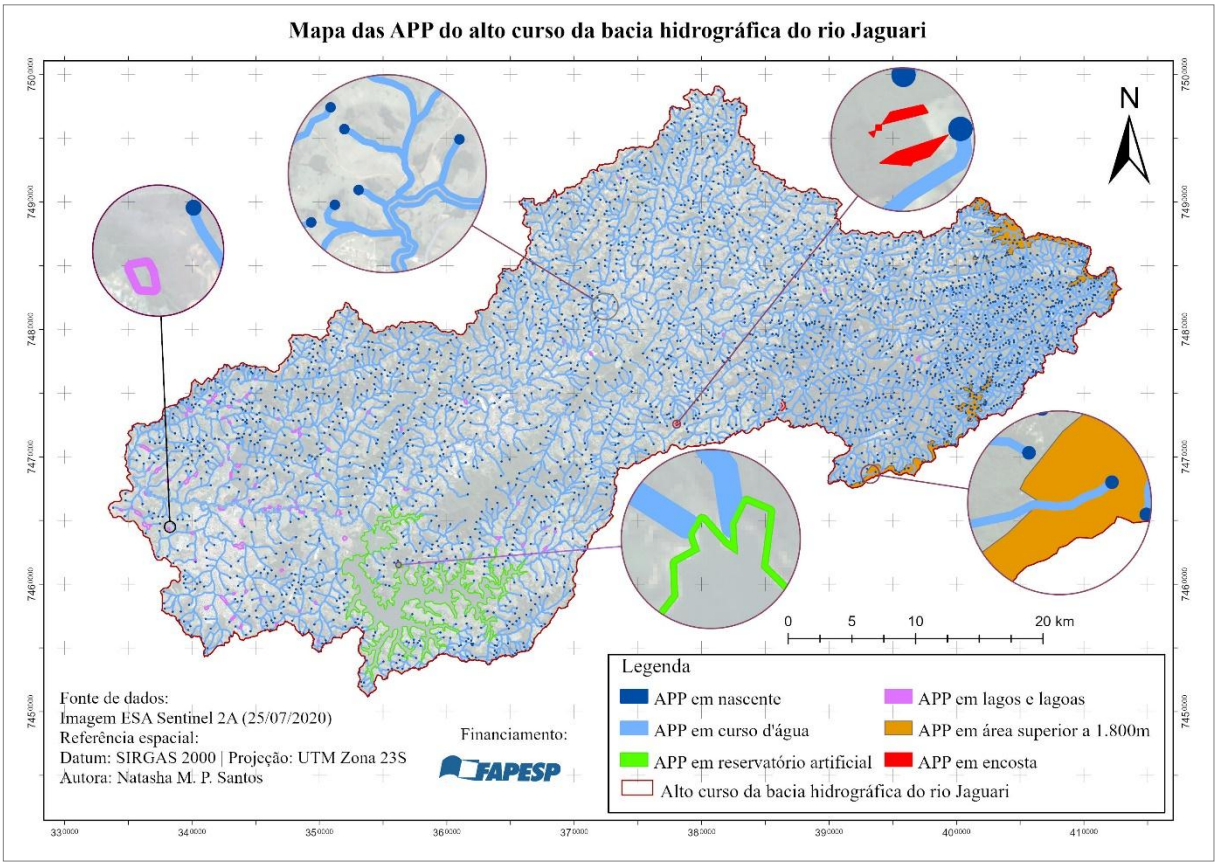
Com todas as APP delimitadas, realizou-se então o mapeamento das diferentes classes de uso e ocupação da terra por meio da classificação de imagens supervisionada por interpretação visual. A partir do uso das imagens do satélite Sentinel 2A foram coletadas amostras das classes pastagem, mata, plantio agrícola, solo e área urbana que posteriormente foram sobrepostas as APP para a caracterização dos conflitos quanto ao uso e ocupação da

terra.

Resultados e discussão

Os resultados da pesquisa podem ser observados na Figura 2 junto a tabela 1, a qual demonstra as APP por abrangência total no alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari. Pôde-se observar a presença de distintos tipologias de áreas protegidas presentes ao longo de toda a área. As APP totais consideraram a abrangência da área urbana e rural, de forma que não considerando a área urbana, com dinâmica diferenciada das APP rurais, o total corresponderia a aproximadamente 225 km² de APP, isto é, sem grandes variações em termos de área.

Figura 2: APP do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1: Área de ocupação das APP na abrangência total da bacia

APP	km²	% em relação a área de estudo
Nascentes	22,02	1,33
Cursos d'água	184,71	11,14
Reservatório artificial	3,34	0,2
Lagos e lagoas	3,79	0,23
Áreas superiores a 1800m	16,03	1
Encostas	0,08	0
Topos de morros	0	0
Total	229,97	13,9

Fonte: Autoria própria.

As áreas de proteção permanente com maior destaque foram aquelas às margens de cursos d'água que corresponderam a cerca de 11% do total das APP e logo em seguida em nascentes, cerca de 1,33%. Considera-se que a presença das APP em cursos d'água de forma mais abundante possivelmente está relacionada a drenagem dendrítica e a presença de inúmeras nascentes principalmente na porção mineira do alto curso da bacia hidrográfica em que se apresentam as mais elevadas altimetrias e onde iniciam-se a maior parte dos cursos d'água.

Ainda na porção do estado de Minas Gerais, foram encontradas as APP de altitude, isto é, áreas protegidas em regiões que apresentam elevação superior à 1.800 metros. Esse tipo de APP a qual correspondeu a cerca de 1% do total foi encontrada na abrangência de municípios como Sapucaí-Mirim e Camanducaia, os quais apresentaram elevações que chegaram a superar 2.000 metros. Esses dados foram constatados a partir das curvas de nível, pontos cotados e a partir da geração do Modelo Digital de Elevação.

As APP em lagos e lagoas e reservatório artificial corresponderam a cerca de 0,2% cada na área estudada, enquanto as APP em encostas não apresentaram valores percentuais significativos e as APP em topos de morros não foram constatadas. No caso dessas duas últimas tipologias, considerou-se que a depender da resolução do Modelo Digital de Elevação e da escala dos dados obtidos os resultados podem variar. No entanto, segundo Oliveira e Filho (2013), a alteração dos parâmetros da delimitação das APP em topo de morros entre os Códigos Florestais (Lei n. 4471/1965 e Lei n. 12.651/2012), por exemplo, levou ao desaparecimento de grande parte delas no território nacional, o que é possível ter acontecido na área estudada já que esse tipo de APP não foi identificada.

Trabalhos os quais realizaram o comparativo em mapeamento das principais mudanças entre os Códigos Florestais demonstraram indicativos de redução na abrangência

das APP entre o Código Florestal de 1965 (Lei n. 4771/1965) e o Novo Código Florestal (Lei n. 12.651/2012), com destaque para as APP em topos de morros, conforme trabalhos de Aurélio Neto, Garção e Epifânio (2015) e Oliveira e Francisco (2018).

Além das reduções constatadas em trabalhos comparativos, mudanças nos parâmetros de delimitação ocorreram nas APP em nascentes, que passaram a não considerar mais as bacias de contribuição; nas APP em topo de morro, que passou a ter declive de 25º e altura mínima de 100 metros; e as áreas que haviam sido desmatadas e necessitam de recomposição com novas metragens reduzidas de acordo com o tamanho das propriedades rurais, conforme as Lei n. 4.771/1965 e Lei n. 12.651/2012 (BRASIL, 1965 e BRASIL 2012).

Além da obtenção das APP na área total do alto curso da bacia hidrográfica, obteve-se também estas por abrangência de município, o que pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Área de ocupação das APP nas porções de abrangência dos municípios contemplados

Municípios	**Tipo de APP**							
	Nascentes	**Curso d'água**	**Reservatório artificial**	**Lagos e lagoas**	**Altitude superior a 1.800m**	**Encostas**	**Topos de morros**	**Total (km²)**
Bragança Paulista	2,64	25,41	0,4	2,63	-	-	-	31,08
Joanópolis	0,94	8,9	1,02	0,26	-	-	-	11,12
Piracaia	0,66	3,42	1,18	-	-	-	-	5,26
Pinhalzinho	0,27	1,62	-	0,26	-	-	-	2,15
Pedra Bela	0,82	6,98	-	0,03	-	-	-	7,83
Vargem	1,1	11,44	0,74	0,32	-	-	-	13,6
Extrema	2,41	26,87	-	0,12	-	0,02	-	29,42
Camanducaia	7,45	60,67	-	0,14	10	0,06	-	78,32
Itapeva	2,27	20,31	-	0,03	-	-	-	22,61
Sapucaí-Mirim	3,46	19,08	-	-	6	-	-	28,54
Total	22,02	187,7	3,34	3,79	16	0,08	0	229,93

Fonte: Autoria própria.

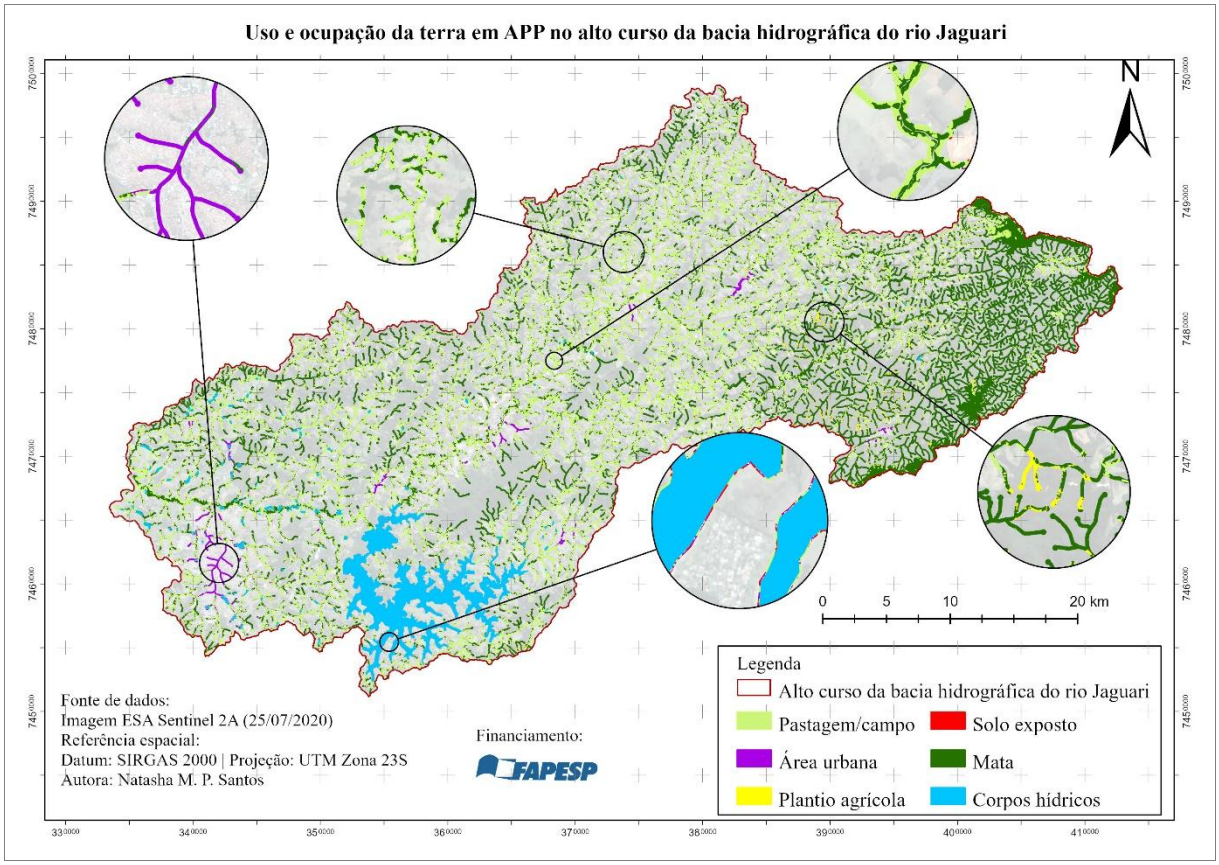
Do total correspondente a uma área aproximada de 229,93 km² de APP, Camanducaia foi o município em sua área de abrangência na bacia hidrográfica o qual apresentou a maior área correspondente às áreas protegidas, cerca de 78,32 km². O mesmo também se destacou quanto as APP em cursos d'água e nascentes. Os demais municípios mineiros também apresentaram destaque, como foi o caso de Extrema e Sapucaí-Mirim, cerca de 29,42 km² e 28,54 km² de APP respectivamente.

Na porção paulista destacou-se Bragança Paulista como 31 km² de APP e Vargem, cerca de 13,6 km². Foi também nos municípios paulistas onde foram encontradas a maiores partes das APP do tipo lagos e lagoas e reservatório artificial já que na porção mais rebaixada do relevo tendem-se a favorecer a formação dos lagos naturais e artificiais em superfícies mais aplainadas.

As APP em encostas foram constatadas apenas em Camanducaia e Extrema, os quais apresentam relevo mais acidentado e possivelmente maiores declives favoráveis a esse tipo de APP. Questão semelhante foi observada para as APP em altitude, as quais foram constatadas em Sapucaí-Mirim e Camanducaia, municípios com os maiores níveis altimétricos na área estudada.

Após a identificação das APP e sua distribuição da bacia hidrográfica estudada, a sobreposição das classes de uso e ocupação da terra sobre elas foi realizada a fim de se identificar os conflitos de uso e ocupação. O resultado pode ser observado na Figura 3 e Tabela 3.

Figura 3: Conflito de uso e ocupação da terra em APP no alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3: Área de ocupação das classes nas APP

Classe de uso e ocupação	km²	Ocupação em APP (%)
Mata	148,2	64,46
Pastagem/campo	53,2	23,14
Solo exposto	1,8	0,78
Plantio agrícola	22,5	9,79
Área urbana	4,2	1,82
Total	229,9	100

Fonte: Autoria própria.

Com a sobreposição das classes de uso e ocupação as APP, foi observado que aproximadamente 35% das APP encontravam-se em situação conflitante, com destaque para a classe pastagem/campo que apresentou grande abrangência de uso e ocupação na área estudada. Apesar disso, a abrangência da classe mata demonstrou-se presente em grande parte do alto curso da bacia hidrográfica. Essas alterações também foram observadas em estudos como os de Whately e Cunha (2007) ao tratarem do Sistema Cantareira, o quadro situacional dos reservatórios e das áreas protegidas.

A sobreposição das classes de uso e ocupação da terra ainda demonstrou possíveis ocupações urbanas, solo exposto e a presença da classe pastagem/campo ao longo da represa Jaguari-Jacareí, as quais podem estar associadas ao turismo. Trabalhos como os de Morais (2010) chamaram a atenção para as consequências das práticas turísticas sem devidas adequações como a fiscalização das atividades, o que pode levar a contaminação hídrica, alterações ecossistêmicas e depósito inadequado de lixo, por exemplo. Esses cenários podem acarretar na alteração da qualidade e quantidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica de forma a comprometer as áreas protegidas e suas funções tanto ecológicas como ambientais.

Além dos resultados obtidos em todo o alto curso da bacia hidrográfica, obteve-se ainda as áreas compreendidas pelas APP conforme abrangência dos municípios. Os resultados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Área de ocupação das classes nas APP

Municípios	Classes de uso e ocupação							
	Pastagem/ campo	**Plantio agrícola**	**Mancha urbana**	**Solo exposto**	**Mata**	**Corpo hídrico**	**APP em conflito**	**Total das APP**
Bragança Paulista	8,66	2,39	2,05	0,3	17,61	0,05	13,4	31,08
Joanópolis	3,44	0,91	0,25	0,13	6,39	-	4,73	11,12
Piracaia	1,88	0,59	0,15	0,21	2,43	-	2,83	5,26
Pinhalzinho	0,44	0,19	0	0	1,51	-	0,63	2,15
Pedra Bela	1,89	0,9	0,06	0,05	4,92	-	2,9	7,83
Vargem	4,32	0,96	0,33	0,19	7,79	-	5,8	13,6
Extrema	9,41	2,32	0,58	0,3	16,8	0	12,61	29,42
Camanducaia	14,48	10,38	0,52	0,38	52,53	-	25,76	78,32
Itapeva	7,91	1,89	0,19	0,15	12,45	-	10,14	22,61
Sapucaí-Mirim	0,75	1,98	0	0,03	25,67		2,76	28,54
Total	**53,18**	**22,51**	**4,13**	**1,74**	**148,1**	**0,05**	**81,51**	**229,93**

Fonte: Autoria própria.

Como foi possível observar a partir do mapeamento, todas as áreas de abrangência dos municípios contemplados na bacia apresentaram algum tipo de conflito de uso e ocupação da terra. Enquanto Sapucaí-Mirim apresentou a menor alteração das APP, cerca de 9%, Piracaia apresentou a maior relação percentual de alteração considerando o total das APP, cerca de 50%. A classe pastagem/campo foi a que apresentou maior destaque, seguida dos plantios agrícolas, área urbana e solo exposto.

Algumas questões no processo de espacialização das APP tangenciaram a subjetividade nos parâmetros para a delimitação delas, como a questão da escala de mapeamento e resolução do Modelo Digital de Elevação (MDE) que podem vir a acarretar distintos resultados. Assim, a depender da resolução e escala, a identificação de APP como em topo de morros e em encostas podem não ser constatadas, o que foi verificado a partir da delimitação realizada na pesquisa.

Nesse sentido, a resolução do Modelo Digital de Elevação (MDE) limita a identificação à medida que a suavização da declividade no terreno pode ser alterada. Entretanto, a obtenção de dados espaciais com maior detalhamento, isto é, melhores resoluções, são muitas vezes difíceis de serem encontrados, visto que sua obtenção implica

em custos financeiros (OLIVEIRA e FILHO, 2013; CAVALLI e VALERIANO, 2000; e PIETZSCH, 2013).

No caso da APP em áreas com elevação superior à 1.800 metros, a subjetividade foi observada com relação ao nível de base a ser considerado para iniciar-se a contagem altimétrica para a delimitação dessas áreas. A Lei n. 12.651/2012 especifica apenas que "as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação" BRASIL, 2012) devem ser consideradas APP, mas não detalha aspectos referentes ao nível de base. Diferentemente das APP em altitude, as especificações para as APP em topos de morros, montes e montanhas consideram como nível de base para verificação do requisito mínimo de altura para ser considerado um possível topo de morro que atenda aos critérios da lei, a planície ou espelho d'água adjacente ou o ponto de sela em relevos ondulados (BRASIL, 2012).

Com relação aos resultados obtidos, os municípios presentes na porção mineira do alto curso da bacia apresentaram menor alteração antrópica das áreas protegidas que aqueles presentes no estado de São Paulo. Esse contexto pode estar diretamente associado a características geomorfológicas de relevos mais acidentados nos municípios de Minas Gerais, o que dificulta a ocupação para fins antrópicos a partir da presença de morros e serras com vertentes mais acentuadas e as maiores elevações, como descrito por Ab'Sáber (2003). Em contraposição, na porção correspondente aos municípios do estado de São Paulo, o relevo mais aplainado com vertentes mais suavizadas contribui para a presença de diferentes usos e ocupação da terra, como o desenvolvimento de atividades econômicas relacionadas à agropecuária, industrialização e à expansão urbana, por exemplo.

Vale ressaltar que os resultados da pesquisa podem diferir daqueles apresentados no Sistema Nacional de cadastro Ambiental Rural (SICAR) em decorrência de fatores como a escala, o critério de mapeamento, a acurácia dos dados obtidos e por ter-se considerado a abrangência das áreas urbanas que apresentam dinâmica diferente das APP rurais. Outra questão é que a pesquisa não considerou o mapeamento a partir do Cadastro Ambiental Rural (CAR), já que as propriedades rurais não se encontram totalmente cadastradas e o mapeamento deve ser feito pelos próprios proprietários rurais de forma autônoma. Consequentemente, torna-se relevante definir critérios tanto em lei como nos próprios mapeamentos que sejam destinados à padronização para melhores resultados.

Apesar disso, o trabalho em questão pôde demonstrar que a aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica para mapeamento automático das áreas protegidas demonstra-se

eficiente já que envolve a rápida quantificação e qualificação dos dados obtidos, bem como a redução de custos financeiros quando se trata da comparação com métodos convencionais para a obtenção das características fisiográficas de uma bacia hidrográfica, por exemplo, os quais dependem de mão-de-obra especializada e mapas topográficos (GARBRECHT e MARTZ, 2000). Além disso, os procedimentos analógicos tendem a ser mais subjetivos por dependerem da interpretação do profissional o qual realiza o mapeamento (HOTT *et al*, 2005).

Do ponto de vista do planejamento e gestão das bacias hidrográficas, unidade territorial a ser considerada para execução da Política Nacional dos Recursos Hídricos, o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a delimitação das áreas protegidas, bem como o mapeamento de uso e ocupação da terra conduz ao conhecimento do território com a finalidade de que se possa aplicar políticas públicas adequadas, isto é, diagnosticar para planejar e monitorar.

Dessa forma, o mapeamento automático relacionado as pesquisas que envolvem o reconhecimento do território contribuem no sentido dos estudos ambientais correlatados ao fortalecimento de ações destinadas à fiscalização e controle do território, bem como o suporte técnico destinado aos instrumentos jurídicos (NASCIMENTO *et al*, 2005). No caso da pesquisa em questão, pôde-se verificar principalmente algumas subjetividades relacionadas aos parâmetros da Lei n. 12.651/2012, o que pode conduzir a novas discussões.

Sabe-se ainda que as áreas de proteção permanente envolvem debates políticos, econômicos e técnicos (ver em TAGLIALEGNA, 2011; BORGES, 2008 e BORGES *et al*, 2011) e que as ações relacionadas ao reflorestamento de áreas degradadas requerem estudos relacionados à viabilidade econômica e contextualização histórica e política do território, já que tangenciam distintos agentes sociais e poucos trabalhos levam essas questões em consideração. Nesse âmbito, para além dos mapeamentos faz-se necessária a ampliação dessas discussões devido à importância da adoção de medidas relacionadas a proteção dessas áreas, mas a partir da consideração dos desafios e limitações políticas e econômicas.

Além desses aspectos, destaca-se que as áreas de proteção permanente apresentam importantes funções eco-hidrogeológicas como a garantia de certa estabilidade térmica e também geológica, além do aumento da recarga do lençol freático e a filtragem do escoamento superficial (TAMBOSI, 2015; BORGES, 2008) e que a sua ausência pode acarretar não só nas perdas naturais, como as pedológicas, biológicas e hídricas, mas também nas perdas econômicas, visto que em eventos extremos, como é o caso daqueles relacionados

à precipitação intensa, as inundações, os assoreamentos e os deslizamentos de terra ocorrem e requerem gastos financeiros associados à mitigação desses processos.

No entanto, como destacado, o conhecimento do território pelo mapeamento pode contribuir no direcionamento das ações relacionados ao planejamento ambiental. Para isso, esses mapeamentos também requerem a continuidade de seus estudos visando o monitoramento e a constante revisão dos parâmetros visto que o território, bem como as próprias paisagens não são estáticos, mas dinâmicos.

Considerações finais

A pesquisa em questão pode demonstrar a eficiência do mapeamento digital e da adoção de um modelo digital de elevação hidrologicamente consistente para a delimitação das áreas de preservação permanente, de forma a destacar a relevância desse tipo de trabalho para conhecimento do território e a adoção de futuras políticas públicas destinadas a preservação e manutenção dessas áreas.

No entanto, alguns aspectos subjetivos foram encontrados nos parâmetros da Lei n. 12.651/2012, o que pode acarretar distintos resultados e dificultar a proteção efetiva dessas áreas. Assim, a padronização de parâmetros e critérios necessita ser estabelecida, o que torna-se possível por meio de trabalhos que considerem o mapeamento das áreas protegidas e as discussões técnico-político-econômicas que envolvem as alterações entre as leis e a importância dessas áreas do ponto de vista natural e econômico.

No caso da área estudada, observou-se a ampla abrangência das APP, mas constatou-se que de acordo com a resolução do modelo digital de elevação e escala de mapeamento, os resultados podem diferir. Além disso, a caracterização dos conflitos de uso e ocupação por meio da sobreposição das APP possibilitam identificar as áreas críticas e prioritárias para reflorestamento, por exemplo, e compreender a situação do território.

Em decorrência dessas questões levantadas na pesquisa, considera-se que a continuidade de trabalhos correlatados a contínua delimitação das áreas protegidas é crucial devido ao dinamismo das atividades socioespaciais e da própria paisagem, de forma a dar suporte as discussões situacionais sobre essas áreas e as ações efetivas de planejamento e gestão das bacias hidrográficas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo pelo financiamento dessa pesquisa, processos nº. 2018/09401-1 e 2020/05304-1

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Domínio dos "mares de morros" no Brasil**. Instituto de Geografia-USP, Geomorfologia n.2, São Paulo, 1966.

AB'SÁBER, A. N. Potencialidades paisagísticas brasileiras. In: AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**: **potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê, 2003. p. 9-27

ANA — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Sistema Cantareira**. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais. Acesso em: 06 fev. 2020.

BORGES, L A. C. *et al* . Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. **Ciencia Rural**, Santa Maria , v. 41, n. 7, p. 1202-1210, July 2011.

BORGES, L. A. C. **Aspectos técnicos e legais que fundamentam o estabelecimento das áreas de preservação permanente (APP)**. 2008.Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008. 193p.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**. Brasília, DF, 2012. Disponível em : http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em 11 fev. 2020.

BRASIL. Lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012. **Altera a Lei nº 12.651, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº s 6.938, 9.393, e 11.428; e revoga as Leis nº s 4.771 e 7.754, a Medida Provisória nº 2.166-67, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio 2012.** Brasília, DF, 2012. Disponível em : http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm. Acesso em 05 mar. 2020

BRASIL. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o novo Código Florestal.** Brasília, DF, 1965. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm. Acesso em 11 fev. 2020.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Brasília, DF, 1997. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em 11 jan. 2022.

CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M. Suavização da declividade em função da resolução da imagem em Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 2, pp. 295-298, 2000.

DIEGUES, A. C. S. **O mito moderno da natureza intocada.** Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras 3. ed. São Paulo: Hucitec, USP, 2000. 161p.

DUDLEY, N. (Editor). **Guidelines for Applying Protected Area Management Categories**. Gland, Switzerland: IUCN. x + 86pp. WITH Stolton, S., P. Shadie and N. Dudley (2013). IUCN WCPA Best Practice Guidance on Recognising Protected Areas and Assigning Management Categories and Governance Types, Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 21, Gland, Switzerland: IUCN. xxpp. 2008.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L. W. Digital elevation model issues in water resources modeling. In: MAIDMENT, D.; DJOKIC, D. (Eds). **Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems.** Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2000. p.1-28

GARCÍA MJL, CAMARASA AM. Use of geomorphological units to improve drainage network extraction from DEM: comparision between automated extraction and photointerpretation methods in the Carraixet catchment (Valencia, Spain). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** n. 1, v.3-4, p. 187-195. 1999. http://dx.doi.org/10.1016/S0303- 2434(99)85012-0.

GONÇALVES, A. B. **Delimitação automática das áreas de preservação permanente e identificação dos conflitos de uso da terra na sub-bacia hidrográfica do rio Camapuã/Brumado.** 2009. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

HOEFFEL, J. L.; FADINI, A.; BARBOSA, J. E. C.; FERMINO, E. Jaguary mineiro: usos do solo e impactos socioambientais. OLAM **Ciência & Tecnologia**, Rio Claro, ano 8, n. 3, p. 140-159, jun./dez. 2008

HOTT, M. C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E. de. Um método para a determinação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros para o Estado de São Paulo. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 12., Goiânia. **Anais** ... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3061-3068

HUMMEL, C.; POURSANIDIS, D.; ORENSTEIN, D. *et al* (7 more authors) (2019) **Protected Area management: fusion and confusion with the Ecosystem Services approach. Science of the Total Environment**, n. 651, v. 2. pp. 2432-2443. 2019.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology,** n. 106, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE Cidades.** Disponível em < https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em 15 ago 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. Disponível em < https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf> Acesso em 10 jan. 2022

IRRIGART – Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: situação dos recursos hídricos** 2004/2006; relatório síntese. Piracicaba. FEHIDRO/PCJ/CBH-PCJ, 2007. 75 p.

MASULLO, Y.; GURGEL, H.; LAQUES, A. E. Avaliação da efetividade de áreas protegidas: conceitos, métodos e desafios. **GEOgraphia**, v. 21, n. 46, p. 91-105, 2019.

MORAIS, M. A. O. **O Sistema Cantareira e a análise de impactos socioambientais da construção da represa do Jaguari-Jacareí**, São Paulo. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo. Acesso em 20 set. de 2020.

NASCIMENTO, M.C.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente Bacia Hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**. Santa Maria. V.15, nº.2, p.207-220, 2005.

OLIVEIRA, G.C.; FERNANDES FILHO, E.I. Metodologia para delimitação de APPs em topos de morros segundo o novo Código Florestal brasileiro utilizando sistemas de informação geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR)**,** 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2013.

PELLIZZARO, P. C. *et al*. GESTÃO E MANEJO DE ÁREAS NATURAIS PROTEGIDAS: contexto internacional. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 21-37, jan-mar. 2015. Trimestral. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asoc/a/yqHG3gkhqfLzZrCDyn7MbLH/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 07 jan. 2022.

PIETZSCH, N. **Proposição e avaliação de metodologia aplicada para delimitação de área de preservação permanente (APP) de margem de rio e APP de topo de morro, utilizando ferramentas de geoprocessamento, conforme diretrizes do novo código florestal brasileiro**. 2013. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/114541#. Acesso em: 17 jan. 2022.

SILVA, G. D. **A dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do Sistema Cantareira**: o caso de duas sub-bacias hidrográficas formadoras do Reservatório Jaguari-Jacareí. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Acesso em: 02 nov. 2020.

TAGLIALEGNA, G. H. F. Reforma do Código Florestal: Busca do equilíbrio entre a agricultura sustentável e a preservação do meio ambiente. In: FERANANDO BOARATO MENEGUIN. (Org.). Agenda Legislativa para o Desenvolvimento Nacional. 596 ed. Brasília: Senado Federal, 2011, v. 1, p. 59-72.

TAMBOSI, L. R.; VIDAL, M. M.; FERRAZ, S. F. B.; METZGER, J. P. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. Estud. av., São Paulo , v. 29, n. 84, p. 151-162, Aug. 2015.Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/vMhK9xjGrjyLMXgBcwmSM7Q/?lang=pt>. Acesso em 30 ago. 2021.

TRIBE A. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method. Journal of Hidrology 1992; 139(1-4): 263-293. http://dx.doi.org/10.1016/0022- 1694(92)90206-B.

WHATELY, M.; CUNHA, P. **Cantareira 2006:** um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: Instituto Socioambiental - ISA, 2007. 68 p.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. **Argissolos: definição e características gerais. Árvore do conhecimento, solos tropicais.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_22122 00611538.html> Acesso em 10 jan.2022.