

# Análise da Paisagem na Avaliação de Ambientes de Proteção em Bacia Hidrográfica do Sudeste Brasileiro

Bruno Vicente Marques<sup>1</sup>  
Gerson Araújo de Medeiros<sup>2</sup>  
Afonso Peche Filho<sup>3</sup>  
Felipe Hashimoto Fengler<sup>4</sup>  
Jener Fernando Leite de Moraes<sup>5</sup>

## RESUMO

Os ambientes de proteção fornecem importantes serviços ecossistêmicos para a sociedade, como a regulação do clima, abrigo da biodiversidade, conservação dos recursos hídricos. Todavia, essas áreas têm se fragilizado como efeito da urbanização e outras intervenções antrópicas. O presente estudo avaliou os ambientes de proteção na bacia hidrográfica sub-tropical do rio Jundiá-Mirim, incluindo seus fragmentos florestais e entorno. Os fragmentos florestais foram avaliados por meio de indicadores percebidos da paisagem, em um plano de amostragem de 91 pontos distribuídos ao longo de toda a bacia. Um Índice de Eficiência da Paisagem (IEP) permitiu classificar o território da bacia hidrográfica conforme o grau de perturbação ambiental. O valor médio de IEP atingiu 38%, indicando a degradação dos ambientes de proteção da bacia, pelo uso e ocupação do solo, predominando a agricultura e pecuária, além de um processo de urbanização crescente. Foram determinadas cinco classes de áreas com escala de complexidade crescente de gestão, frente aos impactos ambientais observados. A metodologia de avaliação ambiental, por meio da análise da paisagem, se mostrou uma alternativa viável para auxiliar na elaboração de planos de gestão ambiental de bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** *Avaliação ambiental; Gestão ambiental, Bacia do rio Jundiá-Mirim.*

<sup>1</sup> Doutor, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Sorocaba, Brazil. [bvmarques@unesp.br](mailto:bvmarques@unesp.br)

<sup>2</sup> Doutor, Professor, Unesp, Sorocaba, Brasil. Orcid - 0000-0002-9122-3909 [gerson.medeiros@unesp.br](mailto:gerson.medeiros@unesp.br)

<sup>3</sup> Doutor, Pesquisador, Instituto Agrônomo (IAC), Jundiá, Brazil. Orcid - 0000-0002-7060-5697 [peche@iac.sp.gov.br](mailto:peche@iac.sp.gov.br)

<sup>4</sup> Doutor, Professor, FACENS, Sorocaba, Brazil. Orcid - 0000-0002-7982-2300 [felipe\\_fengler@hotmail.com](mailto:felipe_fengler@hotmail.com)

<sup>5</sup> Doutor, Pesquisador, IAC, Jundiá, Brazil. Orcid - 0000-0003-1112-4204 [jflmoraes@iac.sp.gov.br](mailto:jflmoraes@iac.sp.gov.br)

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

Os seres humanos transformam as paisagens e adaptam o ambiente de acordo com as necessidades de sua sociedade, que está em constante crescimento e seu estilo de vida cada vez mais urbano e móvel. Essa forma de desenvolvimento moderno, potencializado desde o século XVIII no continente europeu, não foi pensada para ser sustentável quando comparada com as práticas de gestão de terras tradicionais. Tais práticas duraram séculos e só houve uma preocupação no resgate desses valores naturais e culturais no final do século 20 (Antrop 2005).

Neste contexto se insere a paisagem e suas alterações como elemento fundamental para estudos relacionados com as questões ambientais, pois ela se configura no espaço perceptível e um bem cultural comum, com caráter holístico, relativista e dinâmico (Antrop 2000).

A ecologia da paisagem surgiu aproximadamente no mesmo período em que o termo sustentabilidade ambiental foi inserido, tornando-se uma das poucas áreas de estudo com capacidade de abordar amplamente a dimensão cultural das paisagens e sua sustentabilidade, por causa das influências da geografia, planejamento da paisagem e arquitetura paisagística (Musacchio 2011). Desse modo, estudar a paisagem é imprescindível quando se busca entender as interferências sociais, culturais e econômicas que resultaram nos impactos ambientais do presente, sejam eles positivos ou negativos, e assim traçar estratégias para superar seus problemas (Potschin & Haines-Young 2013).

A importância da paisagem é múltipla, pois são testemunhas tangíveis de valores ancestrais, simbólicos e cognitivos, incorpora a história e tradições do manejo da terra, pouco conhecidas por pessoas comuns, e sua percepção se torna uma excelente experiência para absorver toda essa quantidade de informação (Antrop 2005). O mesmo autor também destaca que nas paisagens há muita sabedoria e inspiração para a gestão sustentável, além de serem úteis para a tomada de decisão visando as futuras gerações, pois as paisagens do passado não podem ser trazidas de volta, mas áreas e elementos valiosos podem ser preservados e incorporados na funcionalidade e no estudo da sociedade urbanizada moderna.

Os problemas relacionados à sustentabilidade das paisagens podem ser tratados a partir do entendimento entre ordem e desordem, que implica em causalidade, definição de limites e prevenção de resultados. Tal entendimento levanta questões acerca da complexidade de auto-organização, resiliência, inércia, limites, gestão adaptativa e aprendizagem social (Zurlini et al. 2013).

O estudo da paisagem foi preconizado pela geografia e, atualmente, com o uso do geoprocessamento e ferramentas de sensoriamento remoto se popularizou de forma multidisciplinar. Pesquisadores têm utilizado diversas metodologias para obter resultados relacionados a paisagem, como o estudo de populações (Malkock et al. 2010), estudos espaciais e temporais (Frondoni et al. 2011; Ellis

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes et al. 2012; Malavasi et al. 2013), ocupação e uso das terras (Benoît et al. 2012) e desenvolvimento socioeconômico (Falconer et al. 2013; Jones et al. 2013).

No entanto, o estudo da paisagem não deve ser preconizado apenas pela tecnologia de geoprocessamento, que mesmo com sua eficiência reconhecida, por vezes deixa de contemplar elementos que só podem ser percebidos e avaliados em campo. Por outro lado, apenas o estudo em campo pode dificultar a compreensão dos resultados em sua totalidade e até comprometer as tomadas de decisão para a gestão territorial. Dessa forma, a integração de trabalhos em campo com técnicas de geoprocessamento torna-se ideal para estudos que envolvem a paisagem.

No presente estudo, seguiu-se o conceito de paisagem de Antrop (2000), no qual ela corresponde a uma área percebida por pessoas, cujo caráter é o resultado da ação e interação de fatores naturais e antrópicos. Nesse viés, demonstra-se a importância tanto da avaliação de campo, pelo caráter perceptivo da paisagem, quanto do geoprocessamento, pela possibilidade de se obter um panorama em escala mais abrangente da área e a distribuição dos seus elementos físicos, bióticos e antrópicos.

A antropização das paisagens, pela urbanização, pode levar a diversos cenários de ocupação, trazendo como consequências mais evidentes a ameaça da segurança hídrica e qualidade de vida da população, além da resiliência dos ambientes aquáticos (Medeiros et al. 2017). Nesse contexto, a gestão descentralizada dos recursos hídricos, na escala de pequenas e micro-bacias hidrográficas, tem sido uma alternativa em estados como São Paulo, no qual grandes obras tem significantes custos políticos, econômicos, sociais e ambientais tornando-as questionáveis e emergindo movimentos de oposição por diferentes setores da sociedade (Medeiros et al. 2017). Pequenas e micro bacias hidrográficas correspondem a regiões geográficas que drenam córregos urbanos e rurais, suas áreas atingem algumas centenas de km<sup>2</sup> e estão inseridas no território de poucos municípios, o que exige coesão política entre essas regiões administrativas, permite a descentralização na gestão dos recursos hídricos e a inclusão da comunidade nos debates, envolvendo todas as partes interessadas (Poustie & Deletic 2014).

No processo de urbanização de pequenas e micro-bacias hidrográficas, os recursos florestais são os que mais sofrem seus efeitos, pois consideráveis áreas de vegetação e seus biomas ficam reduzidos a pequenos fragmentos, muitas vezes denominados remanescentes florestais (Wu 2010). Esse impacto diminui consideravelmente a qualidade ambiental dessas bacias, pois na conservação e gestão dos recursos hídricos, entre outros recursos naturais, é indiscutível a importância da vegetação para qualidade do meio aquático, como fator de regulação do clima, na conservação do solo e no controle da poluição atmosférica (Mondal & Southworth 2010; Martinico et al. 2014; Garrastazú et al. 2015). Consequentemente, torna-se imprescindível que os fragmentos florestais de uma bacia hidrográfica estejam em condições plenas para realizarem tais serviços ecossistêmicos.

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

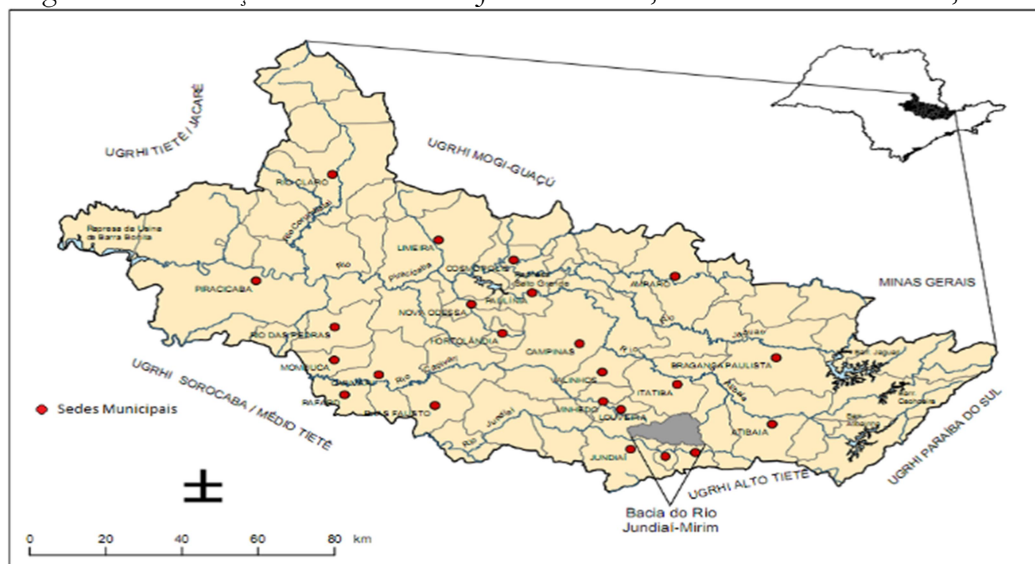
Este artigo teve como objetivo apresentar uma proposta metodológica para avaliação ambiental baseada na percepção de elementos de destaque nas paisagens. Para esse fim, estudou-se os fragmentos florestais e suas áreas de entorno na bacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim, localizada no estado de São Paulo, no sudoeste brasileiro. Frente a situação encontrada foi possível destacar os efeitos ambientais que a antropização da paisagem provocou no território, bem como sua intensidade e magnitude, o que permitiu gerar um índice de eficiência ambiental da paisagem. O estudo também proporcionou a tipificação da bacia hidrográfica em classes, de acordo com os resultados obtidos, e criou elementos e argumentos para se tornar uma ferramenta alternativa na elaboração de planos de gestão ambiental para territórios.

## MATERIAL E MÉTODOS

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim está situada entre os municípios de Jundiá, Jarinu e Campo Limpo Paulista, estado de São Paulo, entre as latitudes 23°00' e 23°30' Sul e longitudes 46°30' e 47°15' Oeste (Figura 1). Essas três cidades têm uma população de 505.000 habitantes, dos quais 80% vivem no município de Jundiá (Machado et al. 2018).

Figura 1. Localização da bacia do rio Jundiá-Mirim, no estado de São Paulo, Brasil.



Fonte: Marques (2016)

A área da bacia atinge 11.750 hectares, dos quais 55% correspondem ao município de Jundiá, 36,6% ao município de Jarinu e 8,4% ao município de Campo Limpo Paulista (Silva & Medeiros 2017).

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

Está situada na zona hidrográfica do Médio Tietê Superior, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo subtropical com estação seca (Cwa). A temperatura média anual atinge 17 °C e a precipitação média anual 1.350 mm (De Carli et al. 2018).

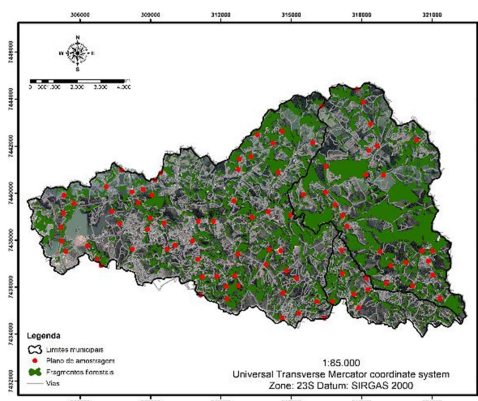
A área da bacia hidrográfica, em sua maior parte, é ocupada pela agricultura (35% da área), pastagens (28%) e vegetação nativa densa (22%). A área urbana corresponde a 11% da área da bacia (Silva & Medeiros 2017).

Trata-se de uma importante bacia produtora de água para o município de Jundiáí, suprimindo 95% de sua demanda hídrica (Machado et al., 2019). Destaca-se ainda a sua localização entre duas importantes regiões metropolitanas do Brasil (Campinas e São Paulo). Tais características tem levado a uma série de estudos conduzidos nessa bacia e relacionados a gestão dos recursos hídricos, como qualidade ambiental (Freitas et al. 2013; Fengler et al. 2015b), análise da paisagem (França et al. 2014; Medeiros et al. 2016; Fengler et al. 2015a), gestão ambiental (Marques 2016; Silva & Medeiros 2017), qualidade da água (Machado et al. 2018; De Carli et al. 2018; Beghelli et al. 2015) e políticas ambientais da bacia (Machado et al. 2019; Silva & Medeiros 2020).

## PLANO DE AMOSTRAGEM

A seleção dos locais nos quais se realizaram as coletas de campo foi baseada na presença dos fragmentos florestais, extraídos do mapa de uso e ocupação de solo e do mapa de vias de acesso da bacia hidrográfica (Figura 2).

**Figura 2.** Plano de amostragem para coleta de informações em campo, na bacia hidrográfica do rio Jundiáí-Mirim.



Fonte: Autor

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

Com o intuito de abranger toda a área da bacia hidrográfica, determinou-se um roteiro com 91 pontos para a coleta de informações (Figura 2). Para esse fim, utilizou-se o software ArcGis (ESRI 1999), com a licença do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba da Universidade Estadual Paulista (UNESP). As coordenadas dos pontos de amostragem foram levantadas utilizando um aparelho GPS de marca Garmin, modelo E-trex 30.

#### AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ELEMENTOS DE DESTAQUE DA PAISAGEM

O trabalho se baseou na percepção dos impactos ambientais recorrentes, sua magnitude e intensidade à luz da observação do avaliador, de forma a traduzir quantitativamente e qualitativamente o que foi visualizado na área em questão.

Para a coleta dos dados utilizou-se uma versão adaptada do método de avaliação ambiental, por meio da análise de paisagem descrito em Medeiros et al. (2016) e Marques et al. (2020).

Em cada ponto de amostragem realizou-se uma análise visual até uma distância de 100 metros a partir do avaliador. Estratos mais longínquos não apresentavam os detalhes suficientes para se realizar uma boa avaliação perceptiva, todavia esse fator dependeu do posicionamento do avaliador na paisagem e da forma em que o relevo se apresentava.

Na análise visual buscou-se identificar elementos de destaque na paisagem, considerando os meios biótico, físico e antrópico da bacia hidrográfica (Tabela 1).

O meio biótico refere-se a todas as relações que envolvem tanto a flora quanto a fauna, sua diversidade biológica, e os fatores que buscam compreender a qualidade dos fragmentos florestais, principalmente suas condições frente a regeneração e perenidade. Já o meio físico está relacionado com as dinâmicas entre solo, água e clima, pois suas interações são fatores fundamentais para se determinar a qualidade ambiental da paisagem (França et al. 2014, Medeiros et al. 2016).

O meio antrópico foi determinado pela interação das atividades humanas com o meio, seus impactos ambientais, sejam eles positivos ou negativos, sua capacidade de alterar a paisagem e a dinâmica natural. Nesse viés, inclui-se a presença de construções, condomínio residencial, indústrias, estradas, de corte e aterro dos terrenos, de atividades mineradoras, de agricultura e pecuária, de ocupação irregular, etc. (França et al. 2014).

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

**Tabela 1. Elementos de destaque da paisagem considerando os meios físico, biótico e antrópico**

|                | Elementos de destaque            | Descrição   |
|----------------|----------------------------------|---|
| Meio Físico    | Processo erosivo                 | Evidência de erosão laminar, sulcos, ravinas e voçorocas.   |
|                | Deposição de sedimentos          | Acúmulo de sedimentos transportados a partir das regiões mais altas da bacia.   |
|                | Selamento superficial            | Redução da infiltração pelo acúmulo de partículas finas na superfície.  |
|                | Risco de escoamento superficial  | Vulnerabilidade ambiental da paisagem em relação à geomorfologia.   |
|                | Risco de incêndio                | Potencial de fogo de origem antrópica em fragmentos florestais.   |
| Meio Biótico   | Diversidade de planta            | Presença de diferentes espécies de árvores e arbustos nativos na paisagem.  |
|                | Densidade de planta              | Composição vegetal da árvore do fragmento, combinada com a diversidade vegetal.   |
|                | Indicação de regeneração natural | Capacidade de resiliência ambiental.  |
|                | Contaminação biológica           | Presença de espécies exóticas e agressivas como <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Brachiaria sp.</i> , <i>Typha domingensis</i> , <i>Melia azedarac</i> . |
|                | Cobertura da terra               | Área do solo coberta de vegetação   |
| Meio Antrópico | Presença de fauna                | Presença ou evidência de insetos, pássaros e / ou mamíferos.  |
|                | Ocupação da terra                | Em relação às atividades humanas instaladas na microbacia: agricultura, meio ambiente urbano, mineração, indústria.                                       |
|                | Potencial de carga difusa        | Cargas de poluentes difíceis de serem detectadas, fatores como topografia e ocupação inadequada estão relacionados à potencial geração de carga difusa.   |
|                | Práticas de conservação do solo  | Presença de práticas de conservação do solo, como terraços, sistema de plantio direto, etc.   |
|                | Tráfego de veículos              | Intensidade do tráfego de veículos na região.   |
|                | Condição das estradas            | Qualidade das estradas, presença de processos de erosão e geração de cargas difusas.  |
|                | Risco de acidentes               | Condições da estrada que causam risco de acidentes, impactos significativos no meio ambiente e na vida humana.  |
|                | Risco de contaminação            | Risco potencial de contaminação ambiental por atividades antrópicas.  |
|                | Resíduos sólidos                 | A presença de resíduos sólidos depositados em locais inadequados.   |
|                | Impacto de vizinhança            | Pressão sobre o entorno dos fragmentos florestais e sobre o ambiente natural por ocupação antrópica.  |

Fonte: Medeiros et al. 2016

A Figura 3 apresenta um exemplo de elementos de destaque da paisagem levantados em um dos pontos de amostragem: (1) condição do fragmento florestal, (2) a presença de resíduos sólidos, (3) contaminação biológica por espécies vegetais exóticas agressivas, (4) a condição de manutenção e trafegabilidade da estrada, (5) o risco de acidentes.

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

**Figura 3.** Elementos de destaque da paisagem selecionados para a avaliação ambiental no ponto de amostragem selecionado, na bacia do rio Jundiáí-Mirim, no estado de São Paulo, Brasil.



Fonte: Autor

### ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DA PAISAGEM

A cada elemento de destaque da paisagem, identificado no ponto de amostragem, foi atribuída uma nota, a qual variou de 1 a 5. A nota 1 correspondeu a elementos de destaque relacionados a impactos ambientais negativos, alta vulnerabilidade ambiental e processos de degradação ambiental, enquanto que de forma gradual e crescente, foram atribuídos valores mais elevados relacionados a melhores condições da paisagem, até o máximo de 5. Tal procedimento possibilitou a obtenção de um índice de eficiência da paisagem (IEP) em cada um dos locais avaliados, por meio da seguinte equação:

$$IEP = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n y_i} * 100$$

em que o IEP corresponde ao índice de eficiência da paisagem (%); n o número de elementos destacados da paisagem e analisados para cada ponto de amostragem; xi corresponde à nota obtida no processo de avaliação (adimensional); yi corresponde à nota máxima na escala de avaliação (adimensional).

### ANÁLISE DOS DADOS E TIPIIFICAÇÃO DA BACIA



Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

Realizou-se uma estatística descritiva dos valores do IEP e elaborou-se um histograma, permitindo verificar a frequência dos valores médios e extremos e o teste de normalidade.

Os resultados dessa análise determinaram se os dados coletados poderiam ser utilizados ou se havia a necessidade de ajustes para normalizá-los. A partir desta informação foi possível criar um semivariograma que indicou o ajuste dos dados de forma exponencial para o modelo de interpolação.

A interpolação, em ambiente SIG, permite modelagens espaciais, considera a similaridade semântica, as propriedades locais e a correlação das características espaciais (Bhattacharjee et al. 2014). Além disso, a interpolação auxilia na interpretação dos dados, pela simplicidade da apresentação gráfica (Zweig & Wolf 2016).

Os resultados de IEP obtidos do histograma permitiram a definição de intervalos de classe de frequência que embasaram a tipificação da bacia hidrográfica. Nessa tipificação, a área da bacia foi dividida considerando 5 classes de valores de IEP, variando de A a E, sendo que o menor índice de eficiência da paisagem possível era de 20%, correspondente à Classe E. Portanto, a Classe E correspondeu aos locais com os maiores impactos ambientais negativos percebidos, enquanto a Classe A apresenta os níveis menos críticos de vulnerabilidade ambiental.

Essa análise possibilitou a estratificação em classes de eficiência ambiental distintas e forneceu subsídios para a elaboração de um plano de gestão ambiental dos ambientes de proteção da bacia do rio Jundiáí-Mirim. Tal plano, com seus respectivos programas e projetos, foi proposto com o intuito de proporcionar o aumento do índice de eficiência da paisagem para os ambientes de proteção dessa região.

Cada uma das regiões estratificadas foi composta por características bióticas, físicas e antrópicas complexas, o que demandou uma análise minuciosa de cada uma das situações apresentadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Índice de Eficiência da Paisagem (IEP) médio dos ambientes de proteção avaliados na bacia do rio Jundiáí-Mirim atingiu 37,9%, com amplitude entre 23% e 68%. Todavia, alguns locais apresentaram discrepância de valores, impedindo uma determinação espacial concisa, o que levou à exclusão de três pontos do plano amostral original. Essa exclusão elevou o IEP médio para 39,3% e os valores de simetria e curtose obtidos na análise da estatística descritiva (Tabela 2), melhorando o ajuste dos modelos de interpolação dos dados.

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

**Tabela 2. Resultados da estatística descritiva para o índice de eficiência da paisagem na bacia do rio Jundiá-Mirim.**

| Parâmetro            | Valor  |
|----------------------|--------|
| Média (%)            | 39,3   |
| Erro padrão (%)      | 1,00   |
| Mediana (%)          | 37,5   |
| Moda (%)             | 44,0   |
| Desvio padrão (%)    | 9,37   |
| Variância da amostra | 87,9   |
| Curtose              | -0,36  |
| Assimetria           | 0,39   |
| Amplitude (%)        | 41,0   |
| Mínimo (%)           | 23,0   |
| Máximo (%)           | 64,0   |
| Soma                 | 3461,4 |
| N                    | 88     |

Apesar da melhora no valor de IEP, esse resultado corrobora os diagnósticos de degradação ambiental dessa bacia, levantados por outros autores, como França et al. (2014), Beghelli et al. (2015), Fengler et al. (2015a), Fengler et al. (2015b), Medeiros et al. (2016), Silva & Medeiros (2017), Machado et al. (2018), De Carli et al. (2018), Silva & Medeiros (2020).

Diferentes fatores causam a degradação ambiental da bacia e, em especial, nos seus ambientes de proteção. Todavia, o uso e ocupação do solo têm sido relatados como as principais causas.

Fengler et al. (2015b) afirmaram que no período de 1972 a 2013 a expansão urbana e da malha viária atingiu cerca de 530% e 223% respectivamente, tendo como reflexo um aumento na perturbação dos fragmentos florestais da bacia do rio Jundiá-Mirim. Esse resultado foi corroborado por Silva & Medeiros (2018) que observaram impactos ambientais negativos relacionados ao uso e ocupação do solo nas Áreas de Proteção Permanente (APP) dessa bacia. Entre esses impactos destacam-se a disposição irregular de resíduos sólidos, a presença de espécies exóticas, a ocupação da área de fragmentos florestais por atividades agrícolas e pastagens (Silva & Medeiros 2018).

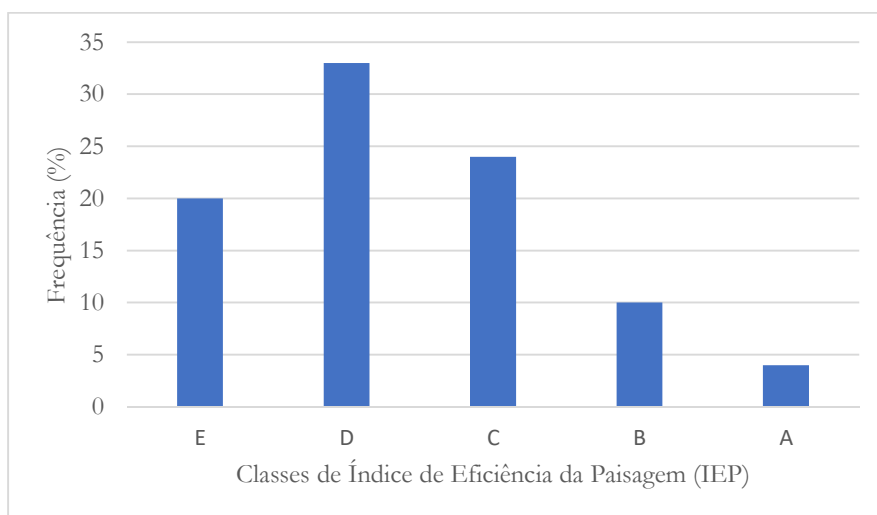
A supressão dos fragmentos florestais, ao longo dos córregos e entorno dos reservatórios, foi relacionada com a degradação da qualidade da água, em estudo conduzido na bacia do rio Jundiá-Mirim por De Carli et al. (2018), destacando a importância da sua preservação.

A análise de consistência apontou um cenário pouco favorável para a bacia hidrográfica. Em busca de um melhor entendimento de sua frequência, os índices de eficiência da paisagem, distribuídos entre 23% e 69%, foram divididos em cinco classes, gerando o histograma apresentado na Figura 4.

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

Essa divisão permitiu definir a Classe E ( $23\% < IEP \leq 32\%$ ); a Classe D ( $32\% < IEP \leq 41\%$ ); a Classe C ( $41\% < IEP \leq 50\%$ ); a Classe B ( $50\% < IEP \leq 59\%$ ) e a Classe A ( $59\% < IEP \leq 69\%$ ). Cerca de 77% dos locais avaliados apresentaram IEP inferior a 50%, com destaque para aqueles que correspondem ao intervalo entre 32% e 41%.

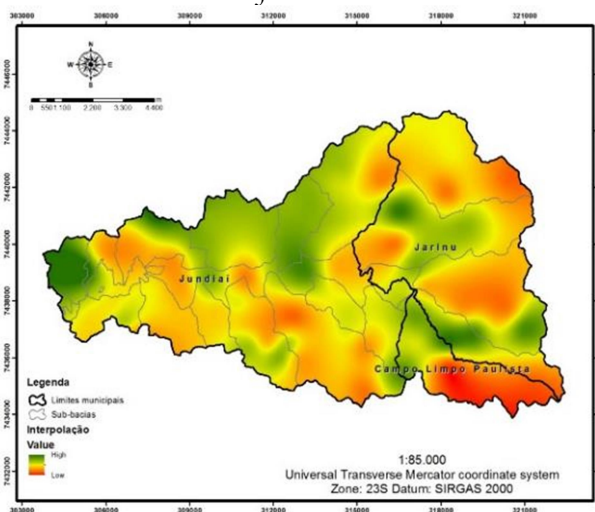
**Figura 4. Histograma de distribuição dos valores de índice de eficiência da paisagem.**



Fonte. Autor

O método de interpolação utilizado para processar os dados foi o Radial Bases Functions, determinado pelo menor erro médio quadrático, o qual atingiu 0,011, quando comparado aos métodos de Krigagem e Inverso do quadrado da distância, que alcançaram 0,032 e 7,406 respectivamente. Assim, o resultado final da interpolação pode ser visualizado na Figura 5.

**Figura 5. Interpolação final dos índices de eficiência da paisagem por funções de base radial, na bacia do rio Jundiá-Mirim.**

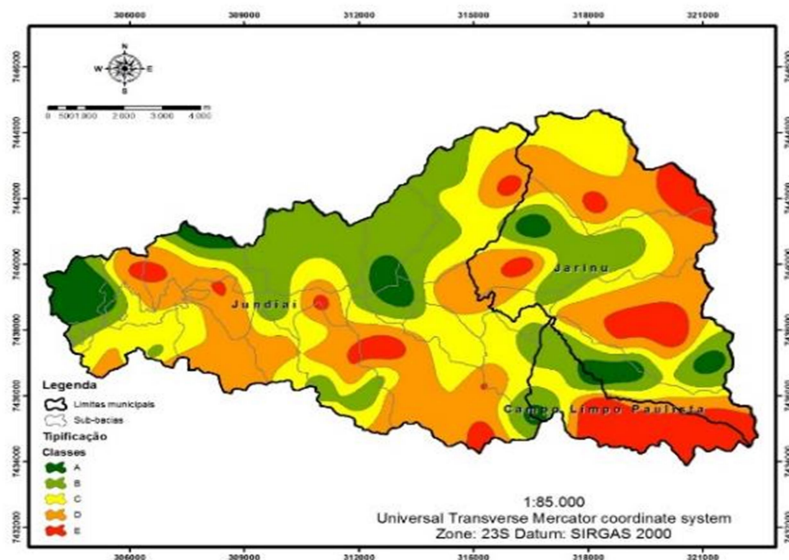


Fonte. Autor

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

De acordo com os resultados apresentados pela interpolação dos dados foi possível dividir a área da bacia em cinco classes diferentes (Figura 6), proporcionando um entendimento pleno dos locais que sofrem maiores pressões em decorrência da antropização das paisagens na bacia hidrográfica.

**Figura 6.** Tipificação das áreas por classes de eficiência ambiental na bacia do rio Jundiá-Mirim.



Fonte. Autor

Os resultados apresentados pela tipificação das áreas da bacia hidrográfica permitiram observar que 11% da área pertence a Classe E, 31% a Classe D, 29% a Classe C, 23% a Classe B e apenas 6% a Classe A.

#### PROGRAMAS E PROJETOS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM COM BASE NA TIPIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

As análises dos dados e sua interpolação forneceram subsídios suficientes para elaborar um plano de gestão ambiental específico para cada uma das classes, em função do nível de perturbação, vulnerabilidade e complexidade ambiental.

O plano de gestão dos ambientes de proteção da bacia hidrográfica deve ser baseado na melhoria dos meios bióticos, físicos e antrópicos. Pelas informações obtidas a partir da análise em campo, constatou-se que todos os ambientes de proteção da bacia hidrográfica apresentavam situações preocupantes relacionadas a qualidade ambiental, com maior ou menor intensidade e magnitude.

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

De acordo com as informações levantadas foi possível sintetizar a estratégia de um plano para os ambientes de proteção da bacia do rio Jundiáí Mirim, de acordo com os programas apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3. Programas estratégicos para o planejamento ambiental dos ambientes de proteção da bacia do rio Jundiáí-mirim.**

|           |  |
|-----------|--|
| Biótico   | Restauração e habilitação de fragmentos florestais |
|           | Reconstituição da Fauna                            |
|           | Recuperação de áreas degradadas (RAD)              |
| Físico    | Conservação do solo                                |
|           | Qualidade da água                                  |
|           | Prevenção e combate ao incêndio                    |
| Antrópico | Adequação da ocupação e uso do solo                |
|           | Gerenciamento de resíduos sólidos                  |
|           | Educação Ambiental                                 |

Tais programas, por sua vez, são os pressupostos principais para desencadear as atividades necessárias para proporcionar a resolução da problemática levantada, bem como orientar a elaboração de projetos de acordo com suas especificidades, bases orçamentárias, alocação de recursos e cronogramas.

Os locais pertencentes a Classe A (Figura 7), apresentaram ambientes de proteção mais consolidados.

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

**Figura 7.** Imagens das áreas correspondentes a Classe A, com características de integração de atividades antrópicas com aspectos conservacionistas e fragmentos florestais com densidade e diversidade vegetal relativamente elevadas.



Fonte. Autor

Nesses ambientes, a vulnerabilidade ambiental não afeta de modo significativo sua qualidade e os elementos de perturbações ambientais interagem com menos intensidade no meio. Conseqüentemente, contemplam projetos mais simplificados, como a interligação de fragmentos para corredores de fauna, o monitoramento das estruturas de conservação de solo no meio rural e as oficinas para engajamento da comunidade na melhoria contínua dos ambientes de proteção.

As regiões contempladas pela Classe B (Figura 8) apresentavam características menos conservadas e mais elementos de perturbação ambiental do que aquelas encontradas na classe anterior. Portanto, seus projetos apresentam uma complexidade relativamente maior, como monitoramento de desenvolvimento florístico, treinamento e capacitação para brigada de incêndio, além de educação ambiental nos veículos de comunicação.

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

**Figura 8.** Imagens das áreas correspondentes a Classe B, de características conservadas, porém com algumas perturbações ambientais provenientes das atividades antrópicas, como contaminação biológica, processos erosivos e risco de acidentes.



Fonte. Autor

A Classe C representa locais com as características intermediárias, nos quais há uma ocorrência preocupante de elementos de perturbação e processos de degradação ambiental. Nesse contexto, para a mitigação dos impactos negativos e a gestão ambiental desses locais, os projetos se tornam mais complexos. O mosaico de imagens da Figura 9 exemplifica os aspectos ambientais dessa classe. Seus respectivos projetos, determinados para compor o plano de gestão dos ambientes de proteção dessas regiões, podem ser o monitoramento do desenvolvimento florístico, a determinação da perda de solo por erosão e oficinas para integração conceitual das comunidades.

**Figura 9.** Imagens das áreas correspondentes a Classe C, que se caracteriza por processos de degradação ambiental e elementos de perturbação ambiental, como contaminação biológica e perda de biodiversidade.

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes



Fonte. Autor

Os locais que correspondem a Classe D (Figura 10) apresentaram fatores de perturbação ambiental preocupantes e uma considerável quantidade de áreas em processo de degradação. Correspondem a locais que requerem projetos de maior complexidade, como o replantio de espécies, o monitoramento da qualidade da água e a readequação de áreas ocupadas em APP, ao longo dos rios e cursos d'água; no entorno das lagoas e reservatórios artificiais; além de nascentes e topos de morro e nas suas encostas.

Os locais contemplados pela Classe E foram os mais complexos de toda a bacia do rio Jundiá-Mirim, conforme pode ser visualizado na Figura 11, pois apresentavam níveis elevados de degradação ambiental. Portanto, a intervenção para mitigar os elementos das perturbações ambientais recorrentes em tais regiões demandam uma maior dedicação técnica, mais recursos alocados e um cronograma de atividades mais extenso, como a aquisição de mudas, sementes, coveamento, adubação e plantio, identificação de fontes poluentes e adequação da logística e itinerário dos veículos de coleta de resíduos.



Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

**Figura 10.** Imagens das áreas correspondentes a Classe D, as quais apresentaram processos erosivos e assoreamento dos corpos d'água.



Fonte. Autor

**Figura 11.** Imagens das áreas correspondentes a Classe E, com processos erosivos acelerados, assoreamento dos recursos hídricos, presença de resíduos sólidos e perda da biodiversidade.



Fonte. Autor

## CONCLUSÕES

A metodologia de análise de paisagem se mostrou uma técnica eficiente para a avaliação de ambientes de proteção na bacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim. Essa técnica forneceu subsídios para a elaboração de programas e projetos de recuperação ambiental na abrangência territorial uma bacia hidrográfica. No entanto, ao utilizar a paisagem para avaliação ambiental é preciso estar ciente de que se opera em um espaço de extrema insegurança e incerteza, portanto, trabalhos dessa natureza devem ser conduzidos por pessoas que tenham conhecimento, criticidade e sensibilidade sobre as questões inerentes ao ambiente, fundamentados por bases metodológicas consistentes e, de preferência, fazer uso de ferramentas que auxiliem na interpretação de dados, como o geoprocessamento e estatística.

Os resultados permitiram concluir que a maneira como a bacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim foi ocupada, ao longo dos anos, levou a uma condição ambiental de degradação, devido ao modelo socioeconômico de uso das terras. Tal condição de alta vulnerabilidade ambiental demanda uma política de ordenamento para ocupação, uso do solo e proteção da biodiversidade, associada a um plano de recuperação dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica. Todavia, é importante ressaltar que apenas a conservação dos fragmentos florestais não garante a qualidade ambiental da região, pois as atividades antrópicas como agricultura, indústria e mineração, além do processo de urbanização potencializam os impactos ambientais negativos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antrop M 2000. Background concepts for integrated landscape analysis *Agr Ecosyst Environ* 77(1):17-28.

Antrop M 2005. Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape Urban Plan* 70(1):21-34.

Beghelli FGS, Carvalho ME, Peche Filho A, Machado FH, Carlos VM, Pompêo M, Ribeiro AI, de Medeiros GA 2015. Uso do índice de estado trófico e análise rápida da comunidade de macroinvertebrados como indicadores da qualidade ambiental das águas na Bacia do Rio Jundiá-Mirim-SP-BR. *Braz J Aquat Sci Tech* 19(1):13-22.

Benoît M, Rizzo D, Marraccini E, Moonen AC, Galli M, Lardon S, Rapey H, Thenail C, Bonari E 2012. Landscape agronomy: a new field for addressing agricultural landscape dynamics. *Landscape Ecol* 27(10):1385-1394.

Bhattacharjee S, Mitra P, Ghosh SK 2014. Spatial interpolation to predict missing attributes in GIS using semantic kriging. *IEEE T Geosci Remote* 52(8):4771-4780.

## Análise Da Paisagem Na Avaliação De Ambientes De Proteção Em Bacia Hidrográfica Do Sudeste Brasileiro

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

De Carli BP, Souza JC, Sousa JAP, Shoegima TF, Romero Barreiro MP, Dutra AC, Medeiros GA, Ribeiro AI, Bressane A 2018. Relationship between land use and water quality in a subtropical river basin. *FRONTEIRAS: J Soc Tech Env Sci* 7(3):245-261.

Ellis RD, McWhorter TJ, Maron M 2012. Integrating landscape ecology and conservation physiology. *Landscape Ecol* 27(1):1-12.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. Getting to know ArcView GIS. Redlands: Esri Press, 1999.

Falconer L, Hunter DC, Telfer TC, Ross LG 2013. Visual, seascape and landscape analysis to support coastal aquaculture site selection. *Land Use Policy* 34:1-10.

Fengler FH, Medeiros GA, Ribeiro AI, Peche Filho A, Moraes JFL, Bressane A 2015a. Desenvolvimento da percepção ambiental de alunos de pós-graduação em Ciências Ambientais da Unesp Sorocaba por meio da abordagem construtivista de ensino. *RBPG Rev Bras Pós Grad* 12(29):805-834.

Fengler FH, Moraes JFL, Ribeiro AI, Peche Filho A, Storino M, Medeiros GA 2015b. Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim entre 1972 e 2013. *Rev Bras Eng Agríc Ambient* 19(4):402-408.

França LVG, Bressane A, Silva FN, Peche Filho A, Medeiros GA, Ribeiro AI, Roveda JAF, Roveda SRMM 2014. Modelagem Fuzzy Aplicada à Análise da Paisagem: Uma proposta para o diagnóstico ambiental participativo. *FRONTEIRAS: J Soc Tech Env Sci* 3(3):124-141.

Freitas EP, Moraes JD, Peche Filho A, Storino M 2013. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. *Rev Bras Eng Agríc Ambient* 17(4):443-9.

Frondoni R, Mollo B, Capotorti G 2011. A landscape analysis of land cover change in the municipality of Rome (Italy): Spatio-temporal characteristics and ecological implications of land cover transitions from 1954 to 2001. *Landscape Urban Plan* 100(1):117-128.

Garrastazú MC, Mendonça SD, Horokoski TT, Cardoso DJ, Rosot MA, Nimmo ER, Lacerda AE 2015. Carbon sequestration and riparian zones: Assessing the impacts of changing regulatory practices in Southern Brazil. *Land Use Policy* 42:329-339.

Jones KB, Zurlini G, Kienast F, Petrosillo I, Edwards T, Wade TG, Li B, Zaccarelli N 2013. Informing landscape planning and design for sustaining ecosystem services from existing spatial patterns and knowledge. *Landscape Ecol* 28(6):1175-1192.

Machado FH, Fengler FH, Medeiros GA 2019. Políticas públicas e proteção ambiental: análise das medidas legais aplicáveis a uma bacia hidrográfica paulista. *Veredas do Direito* 16:367-402.

Machado FH, Gontijo ES, Beghelli FG, Fengler FH, Medeiros GA, Peche-Filho A, Moraes JF, Longo RM, Ribeiro AI 2018. Environmental impacts of inter-basin water transfer on water quality in the Jundiá-Mirim river, South-east Brazil. *Int J Environ Impacts* 1(1):80-91.

Análise Da Paisagem Na Avaliação De Ambientes De Proteção Em Bacia Hidrográfica Do Sudeste Brasileiro

Bruno Vicente Marques, Gerson Araújo de Medeiros, Afonso Peche Filho, Felipe Hashimoto Fengler, Jener Fernando Leite de Moraes

Malavasi M, Santoro R, Cutini M, Acosta ATR, Carranza ML 2013. What has happened to coastal dunes in the last half century? A multitemporal coastal landscape analysis in Central Italy. *Landscape Urban Plan* 119:54-63.

Malkock E, Kilicaslan C, Ozkan MB 2010. Visual landscape analysis of urban open spaces: a case study of the Coastline of Göcek Settlement, Muğla, Türkiye. *Indoor Built Environ* 19(5):520-537.

Martinico F, La Rosa D, Privitera R 2014. Green oriented urban development for urban ecosystem services provision in a medium sized city in southern Italy. *iForest* 7(1):385-395.

Marques BVM, Medeiros GA 2020. Índice de desempenho tecnológico: uma ferramenta para o planejamento e gestão de propriedades rurais no cerrado brasileiro. *Braz J Animal Environ Res* 3(1):9-22.

Marques BV 2016. Avaliação dos ambientes de proteção da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiáí-Mirim/SP, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista. 100pp.

Medeiros GA, Tresmondi ACCL, Queiroz BPV, Fengler FH, Rosa AH, Fialho JM, Lopes RS, Negro CV, Santos LF, Ribeiro AI 2017. Water quality, pollutant loads, and multivariate analysis of the effects of sewage discharges into urban streams of Southeast Brazil. *Energ Ecol Environ* 2:259-276

Medeiros GA, Marques BV, Fengler FH, Machado FH, Moraes JFL, Peche Filho A, Longo RM, Ribeiro AI 2016. Environmental assessment using landscape analysis methodology: the case of the Jundiáí-Mirim river basin, Southeast Brazil. *WIT Trans Ecol Envir* 203:25-36.

Mondal P, Southworth J 2010. Evaluation of conservation interventions using a cellular automata-Markov model. *Forest Ecol Manag* 260:1716-1725.

Musacchio LR 2011. The grand challenge to operationalize landscape sustainability and the design-in-science paradigm. *Landscape Ecol* 26(1):1-5.

Silva COF, Medeiros GA 2020. Cálculo da compensação ambiental de transposição entre bacias utilizando análise da paisagem: estudo de caso na bacia do rio Jundiáí-Mirim. *Brazilian Journal of Development* 6(8):60848-60868.

Silva COF, Medeiros GA 2017. Avaliação ambiental e morfométrica da bacia do rio Jundiáí-Mirim: diagnósticos e subsídios para gestão ambiental. *Boletim Campineiro de Geografia* 7(2):441-454.

Potschin M, Haines-Young R 2013. Landscapes, sustainability and the place-based analysis of ecosystem services. *Landscape Ecol* 28(6):1053-1065.

Poustie MS, Deletic A. 2014. Modeling integrated urban water systems in developing countries: case study of Port Vila, Vanuatu. *Ambio* 43(8):1093-1111.

Wu J 2010. Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research. *Landscape Ecol* 25(1):1-4.

Zurlini G, Petrosillo I, Jones KB, Zaccarelli N 2013. Highlighting order and disorder in social-ecological landscapes to foster adaptive capacity and sustainability. *Landscape Ecol* 28(6):1161-1173.

Zweig S, Wolf L 2016. InterpoNet, A brain inspired neural network for optical flow dense interpolation. Cornell University, Ithaca, New York, 16p. Disponível em <https://arxiv.org/pdf/1611.09803.pdf> Acesso em 5 janeiro 2019.

## Landscape Analysis In The Evaluation Of Protection Environments In Watershed Of Southeast Brazil

### ABSTRACT

Protection environments provide important ecosystem services for society, such as climate regulation, shelter of biodiversity, conservation of water resources. However, these areas have been weakened as a result of urbanization and other anthropic interventions. The present study evaluated the protection environments in the sub-tropical watershed of the Jundiaí-Mirim River, including its forest fragments and surroundings. The forest fragments were evaluated by means of perceived indicators of the landscape, in a sampling plan of 91 points distributed throughout the basin. A Landscape Efficiency Index (IEP) made it possible to classify the territory of the river basin according to the degree of environmental disturbance. The mean value of IEP reached 38%, indicating the degradation of the basin protection environments, by the use and occupation of the soil, highlighting agriculture and livestock, in addition to a growing urbanization process. Five classes of areas with increasing complexity of management were determined, considering the observed environmental impacts. The methodology of environmental assessment through the analysis of the landscape has proved to be a viable alternative to support environmental management plans of watersheds.

*Key words: Environmental assessment; Environmental management; Jundiaí-Mirim watershed.*

Submissão: 08/03/2019

Aceite: 23/10/2020