

Qualidade Ambiental de remanescentes florestais na sub-bacia do Rio Capivari (Campinas/SP)

Environmental Quality of forest remnants in the Capivari River Sub-basin (Campinas – Sao Paulo – Brazil)

Alessandra Leite da Silva ¹ 

Admilson Írio Ribeiro ² 

Regina Márcia Longo ³ 

Palavras-chave:

Disponibilidade hídrica municipal
Fragmentos florestais
Qualidade ambiental
Indicadores geoespaciais

Resumo

Os remanescentes florestais apresentam uma relevante multifuncionalidade para o fornecimento de serviços ecossistêmicos para as cidades, especialmente relacionados à disponibilidade hídrica em aspectos quantitativos e qualitativos, visto que contribuem para o controle do escoamento superficial e das inundações, redução da poluição filtragem da água, dentre outros. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental dos remanescentes florestais da sub-bacia do rio Capivari, em Campinas-SP, que apresenta alto potencial hídrico, utilizando-se métricas da paisagem. As análises foram realizadas em ArcGIS sobre as seguintes métricas: AREA, CAI, IC, ENN, PROXRIO, AGUA, BORDA, EROD, aplicadas para o cálculo do Índice de Qualidade Ambiental (IQrem). Identificou-se que 78,0% dos remanescentes apresentam qualidade ambiental média, seguidos por 15,2% com qualidade baixa e apenas 6,8% com qualidade alta. Esta condição está principalmente relacionada à predominância de remanescentes com pouca ou nenhuma área central, associada à formatos predominantemente alongados e a distribuição destes remanescentes em uma malha predominantemente antropizada. Por outro lado, estes remanescentes apresentam considerável conectividade, já que mais de 50% estão próximos a algum remanescente vizinho em até 60 m. Um ponto chave identificado é o fato de que 93,2% dos remanescentes estão em até 60m de algum curso d'água. Desta forma, constatou-se que os remanescentes florestais apresentam uma significativa função para a manutenção da disponibilidade hídrica para o município de Campinas, em termos de qualidade e quantidade. Isto aumenta a importância de que sejam realizadas ações de manejo eficazes que contribuam para aumentar e assegurar a qualidade ambiental destes remanescentes.

Keywords:

Municipal water availability
Forest fragments
Environmental quality
Geospatial indicators

Abstract

The forest remnants present a relevant multi-functionality for the provision of ecosystem services to cities, especially the ones related to water availability in quantitative and qualitative terms, since they contribute to the control of runoff and floods, reduction of water filtration pollution, among others. Therefore, the present study aimed to assess the environmental quality of the forest remnants of the Capivari River sub-basin, in Campinas-SP, which has high water potential, by using landscape metrics. The analyzes were performed in ArcGIS on the following metrics: AREA, CAI, CI, ENN, PROXFLOW, WAT, SUR, EROD, applied for the calculation of the Environmental Quality Index (IQrem). It was identified that 78.0% of remnants have medium environmental quality, followed by 15.2% with low quality and only 6.8% with high quality. This condition is mainly related to the predominance of remnants with little or no central area, associated with predominantly elongated shapes and the distribution of these remnants in a predominantly anthropized mesh. On the other hand, these remnants have considerable connectivity, since more than 50% are close to a neighboring remnant within 60 m. A key point identified is the fact that 93.2% of the remnants are distant up to 60 m from some watercourse. Thus, it was found that the forest remnants play a significant role in maintaining water availability for the municipality of Campinas, in terms of quality and quantity. This increases the importance of carrying out effective management actions that contribute to increasing and ensuring the environmental quality of these remnants.

INTRODUÇÃO

Em muitas regiões do país e do mundo, uma das alterações de origem antropogênica que têm contribuído mais significativamente para a modificação da paisagem natural é a expansão dos projetos urbanos, processo denominado fragmentação. Este fenômeno contribui, principalmente, para a transformação de grandes áreas de floresta em um mosaico de fragmentos com características e níveis de regeneração diferentes (PATRA et al., 2018; HERSPERGER et al., 2018; MASSOLI; STATELLA; SANTOS, 2016; SAITO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2015).

De acordo com Benedict e McMahon (2006) muitos estudiosos reconhecem que a maneira mais eficaz de combater à fragmentação de habitats e promover a preservação dos processos ecológicos naturais, inclusive nas cidades, é estabelecer um sistema de conservação interconectado de áreas naturais que combata a fragmentação de habitats, sistema denominado como infraestrutura urbana. Esta infraestrutura inclui áreas úmidas, florestas, corredores e parques verdes, dentre outros (HERZOG, 2016; CHICA; TAVARES, 2017).

Conforme apresenta Calderón-Contreras e Quiroz-Rosas (2017), para construir resiliência urbana é essencial examinar e potencializar as diversificadas funções da infraestrutura verde, a fim de atender às demandas urbanas. Neste contexto, os remanescentes florestais urbanos apresentam uma relevante multifuncionalidade de benefícios à cidade, denominados como serviços ecossistêmicos para a cidade, e dos quais destacam-se: a eficaz contribuição para a regulação da temperatura urbana; contenção das encostas; mitigação do escoamento de águas pluviais e consequente redução de enchentes; redução da poluição atmosférica; garantia de habitat para a biodiversidade urbana; e ainda, o fornecimento de serviços culturais, de recreação, lazer e esporte (MARTINI et al., 2017; ELMQVIST et al., 2015; BARÓ et al., 2014; HERZOG; ROSA, 2010).

Especificamente com relação à questão hídrica, os remanescentes florestais apresentam significativa interferência sobre aspectos quantitativos e qualitativos relacionados à disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica, o que afeta diretamente a gestão municipal. Estudos apontam que a maioria das bacias hidrográficas que mais sofrem com problemas de qualidade de água são aquelas que passaram por um intenso e acelerado processo de ocupação, tendo sua vegetação drasticamente

reduzida (CAMARGO et al., 2013; CHAVES; SANTOS, 2009).

Além disso, os remanescentes de vegetação promovem interceptação das águas de chuva, reduzindo o percentual de escoamento superficial; favorecem o controle dos processos erosivos e contribuem para o controle das inundações (BARGOS; MATIAS, 2011; FRANCO et al., 2007; SANCHOTENE, 2004 apud TOLEDO; SANTOS, 2008). Mesmo em meio a uma bacia urbanizada existem nítidas diferenças entre a qualidade de água em áreas próximas a nascentes que abrigam remanescentes florestais quando comparado ao restante do curso d'água que não dispõe desta proteção (MENEZES et al., 2016).

Estes fatores relacionados aos recursos hídricos, microclima urbano, qualidade do ar, entre outros, são aspectos ambientais diretamente associados à dinâmica da cidade e que, portanto, estão relacionados à qualidade ambiental urbana como um todo (RUFFATO-FERREIRA et al., 2018). De fato, as cidades apresentam grande potencial para integrar os serviços ecossistêmicos nos projetos urbanos espaciais, a fim de promover a restauração dos ecossistemas degradados e para fortalecer a integração entre projetos de uso da terra e de estruturas verdes urbanas; entretanto, este potencial é ainda pouco explorado (ANDERSSON et al., 2014).

De forma geral, o planejamento estratégico desenvolvido na escala urbana se configura como documentos, tanto escritos quanto cartográficos, norteadores de um desenvolvimento regional, e que incluem, dentre outros, a delimitação de áreas que devam ser protegidas a fim de garantir a sustentabilidade dos recursos naturais e culturais (HERSPERGER et al., 2018). Entretanto, como acrescentam Calderón-Contreras e Quiroz-Rosas (2017), a maioria das abordagens tradicionais de sustentabilidade urbana visam apenas promover o aumento da quantidade de infraestrutura verde, deixando de considerar a importância de considerar sua qualidade; o que implicaria no uso mais eficiente dos “espaços verdes” nas cidades.

Entretanto, estudos como o de Calderón-Contreras e Quiroz-Rosas (2017) e Damane, Oliveira e Longo (2019) apontam que, de forma geral, a qualidade da infraestrutura verde urbana atual, em escala local, é principalmente de baixa a média, implicando consideravelmente na provisão dos serviços ecossistêmicos. Desta forma, uma das primeiras etapas para um planejamento urbano-ambiental eficaz é diagnosticar a qualidade ambiental das áreas naturais remanescentes. Para tanto, o uso de

geotecnologias e do sensoriamento remoto tem-se mostrado bastante útil (MASSOLI; STATELLA; SANTOS, 2016; OLIVEIRA et al., 2015).

Aplicado aos remanescentes florestais, estas ferramentas possibilitam compreender os padrões espaciais dos fragmentos, identificando também questões críticas de degradação e promovendo subsídios para tomada de decisão que conduza à gestão adequada dos recursos, aliando conservação da biodiversidade, aspectos espaciais e socioeconômicos e demandas locais (JESUS et al., 2015).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar quanti-qualitativamente os remanescentes florestais da sub-bacia do rio Capivari, em Campinas-SP, por meio de métricas da paisagem, a fim de verificar se é possível compreender se há relação estabelecida estes indicadores espaciais avaliados e as principais fragilidades ambientais e potencialidades destes remanescentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A sub-bacia do rio Capivari é a segunda maior sub-bacia em Campinas-SP, apresentando uma área de 21.820,23 ha (218,20 km²) dentro do município. Tem um comprimento de drenagem total de 410,70 km e uma densidade demográfica de 3.776,79 hab./km², segundo Censo Demográfico de 2010 (CAMPINAS, 2017).

A bacia está integralmente localizada dentro do bioma Mata Atlântica (BRASIL, 2018) e segundo dados do Mapa Pedológico Semidetalhado do Município de Campinas (CAMPINAS, 2018), os tipos de solo predominantes na sub-bacia do Capivari são: Latossolos Vermelhos-Amarelos (ocupando uma área de 45,7%), Argissolos Vermelho-Amarelos (32,1%), Cambissolos Háplicos (11,9%), Latossolos Vermelhos (3,8%), Gleissolos Háplicos (3,8%), e demais tipologias (2,7%).

Com uma frequência de rios de 2,10/km², esta sub-bacia apresenta um alto potencial hídrico no município de Campinas. Entretanto, é responsável por atender 6,4% da demanda de água do município; enquanto concentra quase metade da população de Campinas. Estas são questões que interferem e tem relação direta com o adensamento populacional e os padrões de uso e ocupação do solo; e segundo a Plano Diretor do município, o fato da bacia do rio

Capivari não ser autossuficiente em recursos hídricos pode ser um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento dessa região (CAMPINAS, 2017; CAMPINAS, 2013).

Remanescentes Florestais e Indicadores Espaciais

Segundo mapeamento de vegetação natural do município de Campinas (CAMPINAS, 2018), foram mapeados 323 remanescentes florestais na sub-bacia do rio Capivari das seguintes tipologias: Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Mista; Floresta Paludosa; Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado.

A análise e avaliação quanti e qualitativa destes remanescentes florestais foi realizada em software ArcGIS, a partir de métricas de paisagem selecionadas segundo Silva e Longo (2020), como apresentado na Tabela 1.

A partir da avaliação destas métricas espaciais de paisagem foi avaliada a qualidade ambiental em cada remanescente florestal, a partir do Índice de Qualidade Ambiental (IQ_{rem}) apresentado por Silva e Longo (2020) e dado pela Equação 1.

$$IQ_{rem} = 0,079.AREA + 0,215.CAI + 0,101.IC + 0,108.ENN + 0,053.PROXRIOs + 0,224.AGUA + 0,085.BORDA + 0,136.EROD \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

AREA – Tamanho do remanescente

CAI - Índice de Área Central

IC – Índice de Circularidade

ENN – Distância do vizinho mais próximo

PROXRIOs - Proximidade à curso d'água

AGUA – Produção de água

BORDA - Grau de uso e ocupação do solo no entorno

EROD - Grau de erodibilidade do solo

Este método se baseia no princípio de ponderação de valores, no qual existe possibilidade de comparar os pontos avaliados em referência a um ponto considerado como ideal (SILVA; LONGO, 2020). Os pesos associados a cada indicador nesta equação foram determinados a partir da aplicação do Método de Análise Hierárquica de Processos (AHP), associado à consulta a especialistas. Neste processo, os especialistas ponderaram o grau de importância de cada métrica relação à outra. Esta comparação em pares permitiu comparar todas as métricas e calcular o peso final associado a cada indicador.

Tabela 1 - Métricas de paisagem calculadas para cada remanescente florestal mapeado

Métrica	Descrição
a) Tamanho do remanescente (AREA)	De acordo com Freitas (2012), o tamanho de um remanescente florestal pode ser classificado em: muito pequeno (<0,50 ha); pequeno (0,50 - 1,00 ha); médio (1,00 - 5,00 ha); bom (5,00 - 20,00 ha) e adequado (> 20,00 ha).
b) Índice de Área Central (CAI)	Percentual de área central (core) de um remanescente florestal desconsiderando sua faixa marginal, neste estudo considerada como 60 m, sujeita aos efeitos de borda (MASSOLI; STATELLA; SANTOS, 2016; CALEGARI et al., 2010).
c) Índice de Circularidade (CI)	Relação entre perímetro P (m) e área A (m ²) através da equação $CI = \frac{(2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A})}{L}$, pelo qual é possível avaliar a forma de um remanescente e classificá-la em alongada (IC < 0,65), moderadamente alongada (0,65 ≤ CI < 0,85) e arredondada (ICI ≥ 0,85) (FENGLER et al., 2015; ETTO et al., 2013).
d) Distância do Vizinho mais Próximo (ENN)	Distância euclidiana em metros calculada da borda de um remanescente à borda do remanescente mais próximo (FERNANDES et al., 2017).
e) Proximidade à Curso d'água (PROXRIOS) e Produção de Água (AGUA)	Distância euclidiana em metros calculada de um remanescente florestal ao curso d'água mais próxima (PROXRIOS) e presença de nascentes nos remanescentes (AGUA). Avaliado a partir do levantamento de hidrografia e nascentes atualizado pela Secretaria do Verde, Meio Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura de Campinas à escala de 1:5.000 em 2014 (CAMPINAS, 2018).
f) Grau de Uso e Ocupação do Solo no Entorno (BORDA):	Identificação da classe de maior modificação presentes na área do entorno de cada fragmento, em um raio de 175 m. Para tanto, utilizou-se a reclassificação de Silva e Longo (2020) para o mapeamento de uso e ocupação do solo da UGRHI 5, onde: Classe 0 (Paisagem não modificada); Classe 1 (Pequena modificação); Classe 2 (Modificação média); Classe 3 (Modificação alta); Classe 4 (Modificação muito alta).
g) Grau de Erodibilidade do Solo (EROD):	Avaliação da tipologia de solo predominante em cada remanescente florestal, a partir do Mapa Pedológico Semidetalhado do Município de Campinas, e correlação ao grau de erodibilidade correspondente, onde: Gleissolos Hápicos (muito fraco); Latossolos Vermelhos-Amarelos e Latossolos Amarelos (fraco); Cambissolos Hápicos (forte/muito forte); Argissolos Vermelhos-Amarelos (muito forte), segundo Salomão (1999) e Ross (2005).* * Para as demais classes de solo, que correspondem apenas à 2,5% da área da bacia e não dispunham de informação específica, considerou-se um grau de erodibilidade médio.

Fonte: Os autores (2021)

Para aplicação no índice IQ_{rem} , os resultados de cada métrica em cada remanescente da sub-bacia foram classificados e ponderados de acordo com os critérios apresentados na Tabela 2. Por fim, a qualidade

ambiental dos remanescentes recebeu a seguinte classificação: Muito Baixa (IQ_{rem} entre 0,00 e 0,20), Baixa (0,20 – 0,40), Média (0,40 – 0,60), Alta (0,60 – 0,80) ou Muito Alta (0,80 – 1,00).

Tabela 2 - Métricas de paisagem calculadas para cada remanescente florestal mapeado

INDICADOR	PONDERAÇÃO				
	1	3	5	8	10
Tamanho do fragmento (ha) (AREA)	< 0,50	0,50 - 1,00	1,00 – 5,00	5,00 – 20,00	> 20,00
Índice de Área Central (CAI)	< 5 %	5 – 30 %	30 – 50 %	50 – 70 %	> 70 %
Índice de Circularidade (IC)	-	-	< 0,65	0,65 - 0,85	> 0,85
Distância do vizinho mais próximo (ENN)	-	> 200	120 – 200	60 – 120	< 60
Proximidade à curso d'água (PROXRIOS)	-	> 200 m	120 – 200 m	60 – 120 m	< 60 m
Produção de água (AGUA)	-	-	Não	-	Sim
Grau de uso e ocupação do solo no entorno (BORDA)	Classe 4	Classe 3	Classe 2	Classe 1	Classe 0
Grau de erodibilidade (EROD)**	Muito forte	Forte	Médio	Fraco	Muito fraco

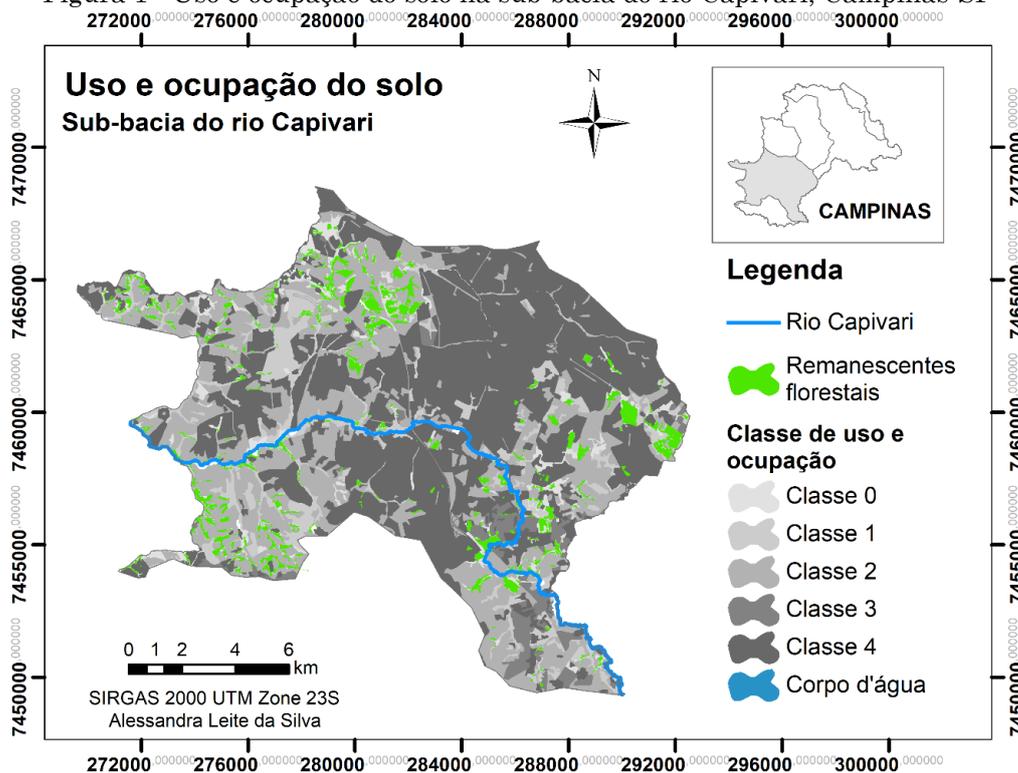
*As classificações intermediárias de erodibilidade “Muito Forte / Forte” e “Fraco / Muito Fraco” receberam ponderação igual a 9 e 2, respectivamente. Fonte: Silva e Longo (2020)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o Plano Diretor do município, em Campinas a expansão urbana foi marcada pela horizontalidade e periferização dos espaços urbanos, intensificando o processo de conurbação com outros municípios. Isto foi verificado especialmente nos sentidos oeste e sudoeste e ao longo da Rodovia Anhanguera e Rodovia Jornalista Francisco Aguirre Proença, em direção a municípios como Sumaré, Hortolândia e Monte-Mor (CAMPINAS, 2017).

A sub-bacia do Capivari está incluída no perímetro urbano do Campinas e compreendem sua área central (CAMPINAS, 2017), o que é evidenciado pela alta urbanização e ocupação por classes de uso não naturais e predominantemente impermeabilizadas. São 47%, aproximadamente, da área com ocupações como edificações, loteamentos e grandes equipamentos (Classe 4), seguidas das áreas de Classe 2, pastagens e espaço verde urbano (31%), Classe 1 (10%), que inclui campo natural, áreas úmidas e de reflorestamento (Figura 1).

Figura 1 - Uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Capivari, Campinas-SP



Onde:

- Classe 0 - Paisagem não modificada: remanescentes florestais;
- Classe 1 - Pequena modificação: áreas úmidas, campo natural e área de reflorestamento;
- Classe 2 - Modificação média: espaço verde urbano e pastagens
- Classe 3 - Modificação alta: cultura perene, semiperene ou temporária;
- Classe 4 - Modificação muito alta: áreas edificadas, loteamentos e solo exposto.

Fonte: Os autores (2021)

Dos 21.820,23 ha de área total da sub-bacia 1.241,26 ha constituem-se de área florestal remanescente, ou seja, 5,7% da bacia. Esta vegetação encontra-se distribuída nos 323 remanescentes. Com relação ao tamanho eles são majoritariamente: médios (45,2%); pequenos (18,0%); muito pequenos (16,7%); de tamanho bom (16,1%) e, por fim, apenas 4,0% com tamanho classificado como adequado, ou seja,

superior a 20,00 ha.

Na Tabela 3 encontram-se os valores médios observados nas métricas da paisagem quantitativas analisadas para os remanescentes florestais localizado na bacia hidrográfica. Todas estas métricas, bem como as métricas qualitativas estão detalhadamente apresentadas e discutidas a seguir.

Tabela 3 – Estatística básica das métricas quantitativas – Sub-bacia rio Capivari

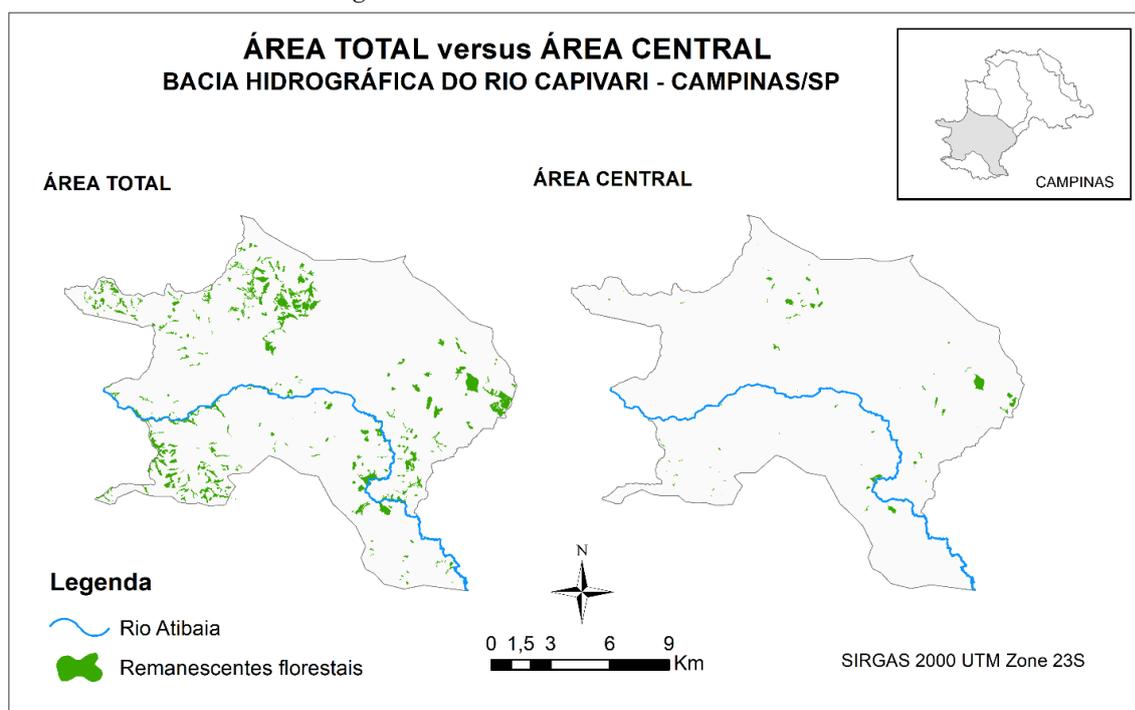
Estatística descritiva	AREA (m)	CAI (%)	IC	ENN (m)	PROXRRIOS (m)
Mínimo	0,03	0,00	0,17	0,00	0,00
Máximo	45,50	64,28	0,94	1294,85	316,48
Mediana	1,82	0,00	0,60	54,22	0,00
Média	3,84	2,43	0,59	116,73	12,10
Desvio-padrão	6,05	7,43	0,18	172,31	37,82

Onde: Tamanho do fragmento (ha) (AREA); Índice de Área Central (CAI); Índice de Circularidade (IC); Distância do vizinho mais próximo (ENN); Proximidade à curso d'água (PROXRRIOS). Fonte: Os autores (2021).

A partir da métrica CAI foi possível identificar que dos 5,7% de área florestal remanescente na sub-bacia apenas 11,1% correspondem a área central. Isto implica que 89,0% da área florestal corresponde a área de borda, sendo que dos 323 remanescentes apenas 66 apresentam área central, como representado na Figura 2. Isto representa uma perda

significativa de área efetiva de ecossistema natural, sinalizando a alta fragilidade destes remanescentes. Esta condição afeta diretamente as espécies sensíveis que possuem requisitos ecológicos específicos, como área de mata bem preservada e ausência de efeito de borda (MASSOLI; STATELLA; SANTOS, 2016; SILVA et al., 2019).

Figura 2 - Área total versus Área Central



Fonte: Os autores (2021)

Esta é uma condição de fragilidade, que interfere diretamente na qualidade destes remanescentes e está também associada à forma dos remanescentes. O índice de circularidade (IC) apontou que um apenas um baixo percentual (8,1%) deles apresentam formato arredondado e, portanto, mais favorável; enquanto isso 59,1% apresentam forma alongada e 32,8% moderadamente alongada. Vale destacar ainda que todos os poucos remanescentes com formato arredondado

apresentam uma área inferior a 3,00 ha, sendo que 73,1% destes são menores que 1,00 ha, ou seja, muito pequenos.

Como constatado por outros pesquisadores, formatos mais regulares estão associados especialmente a fragmentos pequenos e/ou muito pequenos; isto indica que o aumento do tamanho dos fragmentos geralmente resulta em formatos mais irregulares (FERNANDES; FERNANDES, 2017; SILVA et al., 2019). Desta forma, conclui-se que apesar dos fragmentos

menores serem altamente suscetíveis ao efeito de borda devido sua área reduzida, nos fragmentos maiores a ocorrência de efeito de borda está associada principalmente à irregularidade da forma do remanescente.

Quanto à proximidade dos remanescentes entre si obteve-se os seguintes resultados: 53,3% estão a menos de 60 m de distância de seu vizinho mais próximo; 19,5% estão entre 60 e 120 m; 11,5% entre 120 e 200 m e um significativo percentual de 16,7% encontram-se a mais de 200 m de distância uns dos outros. Entretanto, a aparente conectividade de grande parte dos remanescentes, que não estão muito distantes de seu vizinho mais próximo, é uma métrica que não pode ser avaliada isoladamente.

Como destacado por Massoli, Statella e Santos (2016), o parâmetro conectividade, quando avaliado pela distância do vizinho mais próximo, pode ser pouco afetado pelo processo de desmatamento ou ainda sofrer aparente melhora. Isto porque pode haver redução do isolamento médio entre os fragmentos associada ao retalhamento de grandes remanescentes em outros de menor tamanho, porém, distância reduzida entre eles. Ou seja, uma condição semelhante a esta identificada na bacia do rio Capivari não necessariamente indica aumento de conectividade, pode, pelo contrário, demonstrar aumento no fenômeno de fragmentação florestal.

Vale, portanto, analisar esta métrica em conjunto com as demais. Neste caso, vale ressaltar que a bacia do rio Capivari é também uma bacia com uso predominantemente urbano; são 76,2% de área dentro do perímetro urbano do município, com 47,0% da área total ocupada com edificações, loteamentos e grandes equipamentos (Classe 4 apresentada anteriormente). Sendo assim, portanto, os remanescentes encontram-se também muito próximos a algum tipo de via de tráfego. Além disso, mais de 76,5% dos remanescentes estão em contato, em alguma parcela de sua borda, com usos predominantemente antropizados (Classe 4) que exercem considerável pressão sobre o ecossistema natural, a segunda classe de uso predominante no entorno dos remanescentes é a Classe 2 (21,4%).

Como se trata de uma bacia hidrográfica na qual o uso do solo já está mais consolidado, iniciativas usuais como a implantação de corredores ecológicos podem apresentar maiores dificuldades para alcançar a efetividade desejada, entretanto, é importante que estes sejam priorizadas nas áreas que permitam sua eficaz implantação.

Quanto à proximidade dos remanescentes e cursos d'água (PROXRIO), a sub-bacia do

Capivari apresentou bons índices: 93,2% dos remanescentes estão a menos de 60 m de algum curso d'água; 3,7% estão entre 60 m e 120 m e 2,2% entre 120 m e 200 m. Além disso, 35,3% destes remanescentes apresentam pelo menos uma nascente em seu interior. Estas são informações bastante importantes para a gestão destas áreas; pois, como mencionado, na sub-bacia do Capivari os remanescentes florestais apresentam uma significativa função para a manutenção da disponibilidade hídrica, em termos de qualidade e quantidade.

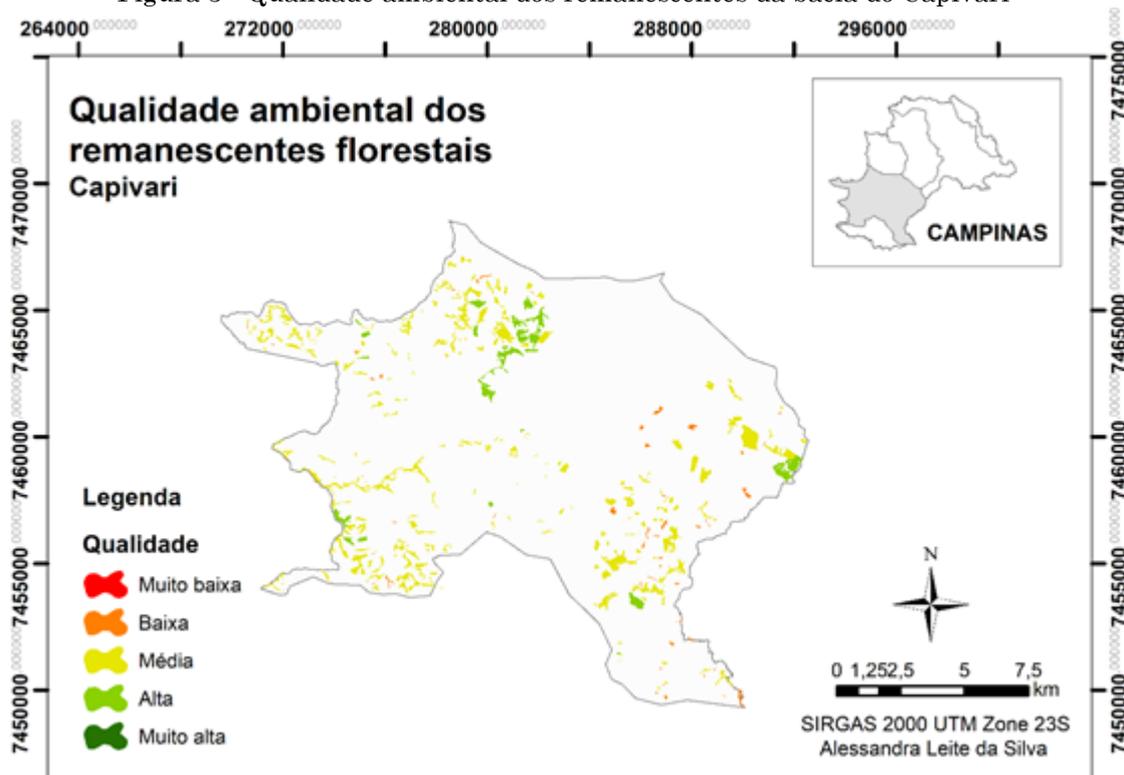
O crescimento da demanda de água urbana é um fenômeno que merece atenção e pode ter sua causa em dois fatores: o aumento no número de usuários urbanos, oriundo da expansão da população urbana total, e o aumento do consumo de água per capita, resultado da melhora das condições econômicas da população. Entretanto, diante destas circunstâncias, os recursos hídricos passam a ser explorados de forma excessiva, afetando o equilíbrio entre a oferta e a demanda de água urbana e resultando, conseqüentemente, na diminuição da qualidade da urbanização (WU et al., 2018; WU; TAN, 2012).

Segundo o Plano de Saneamento do município de Campinas, o rio Capivari é responsável pelo abastecimento da região sul do município, especialmente na região no entorno do Aeroporto Internacional de Viracopos, e é responsável pelo fornecimento de 6,5% do volume total necessário para abastecimento do município de Campinas (CAMPINAS, 2013). Isto aumenta a importância de que sejam realizadas ações de manejo eficazes que contribuam para aumentar e assegurar a qualidade ambiental destes remanescentes.

Nesta bacia, 41,5% dos remanescentes estão localizados em solos classificados com grau de erodibilidade muito forte e 24,8% com grau forte/muito forte, o que evidencia a vulnerabilidade da área à erosão e a importância ambiental dos remanescentes nesta área, que atuam como fonte de cobertura vegetal protetora do solo. Apenas 24,5% dos remanescentes na sub-bacia do rio Capivari estão em solo de grau de erodibilidade fraco/muito e 9,3% muito fraco.

A partir destas métricas, calculados os Índices de Qualidade Ambiental (IQ_{rem}), identificou-se que: 78,0% dos remanescentes na sub-bacia do rio Capivari apresentam qualidade ambiental média, seguidos por 15,2% com qualidade baixa e apenas 6,8% com qualidade muito alta. Não houve nenhum remanescente classificado com qualidade muito baixa, nem muito alta (Figura 3).

Figura 3 - Qualidade ambiental dos remanescentes da bacia do Capivari



Fonte: Os autores (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste estudo foi possível verificar que os remanescentes florestais na sub-bacia do rio Capivari, em Campinas-SP, apresentam uma significativa contribuição para a manutenção da disponibilidade hídrica no município, em termos de qualidade e quantidade. Isto aumenta a necessidade de que sejam realizadas ações de manejo eficazes que contribuam para aumentar e assegurar a qualidade ambiental destes remanescentes.

Além disso, conforme indicados pelo Índice de Qualidade Ambiental (IQ_{rem}), a maioria dos remanescentes apresentam atualmente uma condição mediana de qualidade, o que indica necessidade de manejo adequado, especialmente voltados a amenizar as fragilidades destes remanescentes e propor medidas de recuperação ambiental. Conforme apresentado pelas métricas de paisagem, estas fragilidades estão especialmente relacionadas ao efeito de borda potencializado pela ausência de área central e formato irregular destes remanescentes, associados a pressões antrópicas provenientes do entorno.

Desta forma, evidencia-se que a metodologia utilizada no estudo foi eficaz para levantar, por meio de instrumentos de análise espacial, as

principais fragilidades de remanescentes florestais em escala de bacia hidrográfica.

Diante disso é possível propor medidas de mitigação de impactos e proteção destas áreas sensíveis. De forma geral, em condições similares a esta são geralmente propostas medidas tais como a implantação de corredores ecológicos. Contudo, a implantação de corredores ecológicos deve ser bem estudada e pode não ser generalizada como a principal alternativa de gestão para estes remanescentes.

Neste caso, de acordo com as condições indicadas pelas métricas de paisagem na sub-bacia do rio Capivari e buscando assegurar a qualidade ambiental dos remanescentes, iniciativas que promovam o aumento de área efetiva dos remanescentes são indicadas.

REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, E. et al. Reconnecting Cities to the Biosphere: Stewardship of Green Infrastructure and Urban Ecosystem Services. *AMBIO*, v. 43, n. 4, p. 445-453, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y>
- BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas Verdes Urbanas: Um Estudo De Revisão e Proposta Conceitual. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba, v. 6, n. 3, p.

- 172–188, 2011. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v6i3.66481>
- BARÓ, F. et al. Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain. *AMBIO*, v. 23, p. 466-479, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- BENEDICT, M. A.; McMAHON, E. T. **Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century**. Washington, DC: Sprawl Watch Clearinghouse Monograph, 2006. 36 p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Download de dados geográficos. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 15 mai. 2018.
- CALDERÓN-CONTRERAS, R.; QUIROZ-ROSAS, L. E. Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: A case from Mexico City. *Ecosystem Services*, v. 23, p. 127–137, fev. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.004>
- CALEGARI, L. et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 871-880, out. 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000500012>
- CAMARGO, M. et al. A sustentabilidade urbana analisada através do estudo de implantação de corredores verdes em dois logradouros da cidade de Cruz Alta/RS. *Revista Gedecon*, Cruz Alta, v. 1, n. 1, p. 127–135, 2013. <http://dx.doi.org/10.33053/gedecon.v1i1.402>
- CAMPINAS. **Origens**. Disponível em: <http://www.campinas.sp.gov.br/sobre-campinas/origens.php>. Acesso em 12 out. 2017.
- CAMPINAS. **Portal Geoambiental**. Disponível em: <https://geoambiental.campinas.sp.gov.br/>. Acesso em 15 jul. 2018.
- CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. **Mapeamento de Áreas Verdes do Município de Campinas**. Disponível em: <http://ambientecampinas.wix.com/mapeamento#!>. Acesso em: 26 mai. 2018.
- CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. **Plano Diretor Estratégico**. Campinas: (SEPLAMA) Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano, 2017.
- CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Campinas: (SVDS) Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2013.
- CHAVES, H. M. L.; SANTOS, L.B. Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, p. 922-930, dez. 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000700015>
- CHICA, C. P.; TAVARES, J. C. Sustentabilidade Urbana e Infraestrutura Verde: Diálogo entre Conceitos e Práticas. *In Situ – Revista Científica do Programa de Mestrado Profissional em Projeto, Produção e Gestão do Espaço Urbano*, São Paulo, v. 3, p. 165-180, jun. 2017.
- DAMAME, D. B.; OLIVEIRA, E. D.; LONGO R. M. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub-bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. *Acta Brasiliensis*, Patos, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2019. <https://doi.org/10.22571/2526-4338108>
- ELMQVIST, T. et al. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 14, p. 101-108, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>
- ETTO, T. L. et al. Ecologia da paisagem de remanescentes florestais na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras - Campinas -SP. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1063-1071, dez. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600008>
- FENGLER, F. H. et al. Environmental quality of forest fragments in Jundiá-Mirim river basin between 1972 and 2013. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 402-408, abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p402-408>
- FERNANDES, M. et al. Ecologia da Paisagem de uma Bacia Hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. *Floresta e Ambiente*, Viçosa, v. 24, e00025015, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.025015>
- FERNANDES, M.; FERNANDES, R. D. M. Análise Espacial da Fragmentação Florestal da Bacia do Rio Ubá - RJ. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1429–1439, 2017. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509830330>
- FRANCO, G. A. D. C. et al. Importância dos remanescentes florestais de Embu (SP, Brasil) para a conservação da flora regional. *Biota Neotropica*, Campinas, v. 7, n. 3, p. 145-161, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032007000300017>
- FREITAS, E. P. **Análise integrada do mapa de uso e ocupação das terras da microbacia do Rio Jundiá-Mirim para fins de gestão ambiental**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas - SP, 2012.
- HERSPERGER, A. M. et al. Urban land-use change: The role of strategic spatial planning. *Global Environmental Change*, v. 51, p. 32-42, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.001>
- HERZOG, C. P. A multifunctional green infrastructure design to protect and improve native biodiversity in Rio de Janeiro. *Landscape Ecology Engineering Journal*, Tempe, n. 12, p. 141-150, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11355-013-0233-8>
- HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. *Revista LABVERDE*, São Paulo, n. 1, p. 92-115, September, 2010. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i1p92-115>
- JESUS, E. N. et al. Estrutura dos fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Poxim-SE, como subsídio à restauração ecológica. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 467-474, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000300007>
- MARTINI, A. et al. Análise microclimática das diferentes tipologias da floresta urbana de Curitiba.

- Revista Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 24, p. 137-144, abr./jun. 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i2.49518>
- MASSOLI, J. V.; STATELLA, T.; SANTOS, V. S. Estimativa da fragmentação florestal na microbacia Sepotubinha, Nova Marilândia - MT, entre os anos de 1990 a 2014. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 60, p. 48-60, 2016. <https://doi.org/10.14393/RCG176004>
- MENEZES, J. P. et al. Relação entre padrões e uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio Claro, v. 21, n. 3, p. 519-534, jul./set. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>
- OLIVEIRA, A. P. G. et al. Uso de geotecnologias para o estabelecimento de áreas para corredores de biodiversidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 595-602, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000400001>
- PATRA, S. et al. Impacts of urbanization on land use /cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level. **Journal of Urban Management**, v. 7, p. 70-84, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.04.006>
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 2005. 8ed. São Paulo: Contexto, Coleção Repensando a Geografia, 2005. 85p.
- RUFFATO-FERREIRA, V. J. et al. Zoneamento ecológico econômico como ferramenta para a gestão territorial integrada e sustentável no Município do Rio de Janeiro. **EURE**, Santiago, v. 44, n. 131, p. 239-260, jan. 2018. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612018000100239>
- SAITO, N. S. et al. Geotecnologia e Ecologia da Paisagem no Monitoramento da Fragmentação Florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 201-210, fev. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.119814>
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos Processos Erosivos. In GUERRA, A.J.T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.
- SILVA, A. L. et al. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1254-1269, jul./set. 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509830201>
- SILVA, A. L.; LONGO, R. M. Ecologia da paisagem e qualidade ambiental de remanescentes florestais na sub-bacia hidrográfica do Rio Atibaia dentro do município de Campinas-SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n.4, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509842640>
- TOLEDO, F. S; SANTOS, D. G. Espaços Livres de Construção. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, SP, v. 3, n. 1, p. 73-91, mar. 2008. <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v3i1.66254>
- WU, P.; TAN, M. Challenges for sustainable urbanization: a case study of water shortage and water environment changes in Shandong, China. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 919-927, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.085>
- WU, Y. et al. The spatial characteristics of coupling relationship between urbanization and environment in the Pan Yangtze River Delta. **Energy Procedia**, v. 152, p. 1121-1126, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.136>

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Alessandra Leite da Silva fez a aquisição de financiamento, trabalhou com os dados; analisou; investigou e escreveu. Admilson Írio Ribeiro supervisionou, validou e revisou a escrita. Regina Márcia Longo conceituou, fez a aquisição de financiamento, supervisionou e revisou a escrita.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.