

Qualidade ambiental de remanescentes florestais nas bacias hidrográficas do Capivari-Mirim e Jaguari, município de Campinas/SP

Environmental quality of forest remnants in the hydrographic basins of Capivari-Mirim and Jaguari, municipality of Campinas/SP

Alessandra Leite Silva ^{*1}, Adélia N. Nunes ^{**2},
Admilson Írio Ribeiro ^{***3} e Regina Márcia
Longo ^{****4}

¹Pontifícia Universidade Católica Campinas – PUC Campinas, SP, Brasil

²Departamento de Geografia e Turismo, Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT) Universidade de Coimbra, Coimbra

³Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP Sorocaba, SP, Brasil

⁴Pontifícia Universidade Católica Campinas – PUC Campinas, SP, Brasil

Resumo

Os remanescentes florestais contribuem de forma significativa para a sustentabilidade ambiental das cidades, sendo associados a diversos serviços ecossistêmicos, como a infiltração de água, a manutenção da biodiversidade, o fornecimento de matérias-primas, as melhorias climáticas, o conforto térmico e a ciclagem de nutrientes, entre outros. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer e aplicar um índice de qualidade ambiental em remanescentes florestais nas bacias hidrográficas do Capivari-Mirim e do Jaguari no município de Campinas/SP, a fim de identificar as principais fragilidades presentes nesses ecossistemas, de modo a propor medidas mitigadoras fundamentadas e eficazes. Para tanto, foram aplicadas métricas da paisagem em 75 remanescentes florestais na bacia hidrográfica do Rio Capivari Mirim e 324 na bacia hidrográfica do Rio Jaguari, localizados no município de Campinas. Os resultados obtidos mostram que apenas 10% dos remanescentes foram classificados com qualidade alta na bacia do Capivari-Mirim e 2,5% na bacia do Jaguari. Em ambas as bacias predominam remanescentes com um índice de qualidade média, sendo que 13% e 26% evidenciam baixa qualidade, respectivamente na bacia de Capivari-Mirim e do Jaguari. Os resultados obtidos mostram que os indicadores utilizados podem constituir importantes ferramentas na identificação de medidas a propor, em termos de recuperação desses importantes ecossistemas, assim como para a conservação e preservação da maioria dos remanescentes estudados.

Palavras-chave: Ecologia da paisagem. Áreas verdes urbanas. Recuperação de áreas degradadas.

Cadernos de
Geografia

doi: https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623_51_02

Recebido a:
03 de março de 2025
Aprovado a:
01 de abril de 2025

*Email: alessandra.leite@unesp.br

**Email: adelia.nunes@fl.uc.pt

***Email: admilson.irio@unesp.br

****Email: regina.longo@puc-campinas.edu.br

Abstract

The forest remnants contribute significantly to the environmental sustainability of cities, being associated with various ecosystem services, such as soil water infiltration, maintenance of biodiversity, the provision of raw materials, climate improvements, thermal comfort, the cycling of nutrients, among others. In this sense, the present work aimed to apply an environmental quality index in forest remnants in the watersheds of Capivari-Mirim and Jaguari in the municipality of Campinas/SP, in order to identify the main weaknesses present in these ecosystems and to propose based and effective mitigation measures. To this end, landscape metrics were used for 75 forest remnants in the watershed of the Capivari Mirim River and 324 in the watershed of the Jaguari River, located in the municipality of Campinas. The obtained results show that only 10% of the remnants were classified with high quality in the Capivari-Mirim basin and 2.5% in the Jaguari basin. In both basins remnants with a medium quality index predominate, with 13% and 26% showing low quality, respectively in the Capivari-Mirim and Jaguari basins. The obtained results show that the indicators used can be important tools in identifying measures to be proposed, in terms of the recovery of these important ecosystems, as well as for the eminent need for the conservation and preservation of most of the studied remnants.

Keywords: Landscape ecology. Urban green areas. Recovery of degraded areas.

1. Introdução

Deve considerar-se que o planejamento das cidades trabalha sob duas óticas distintas, mas correlacionadas. A primeira parte do objetivo de ordenar a ocupação de espaços não ocupados, de forma a melhor organizar as dinâmicas de ocupação; a segunda considera os locais já ocupados e as respectivas dinâmicas estabelecidas, a fim de propor uma gestão adequada. Desta forma, o planejamento e a gestão são os conceitos-chave para a dinâmica das cidades (Fraga & Gavriloff, 2014). Em muitas regiões do país e do mundo, os fatores que mais têm contribuído para a modificação da paisagem natural e principalmente para a transformação de grandes áreas de floresta em um mosaico de fragmentos, com características e níveis de regeneração diferentes, é o forte crescimento das atividades agropecuárias e a expansão dos projetos urbanos (Longo et al., 2024; Massoli et al., 2016; Oliveira et al., 2015; Saito et al., 2016).

O ideal é que esta infraestrutura seja planejada antes do estabelecimento da ocupação urbana, de forma a promover uma ocupação sustentável que assegure a conservação de áreas frágeis e de grande valor ambiental, contribuindo também para o aumento da biodiversidade, proteção dos fluxos de água e manutenção do contato integrado entre natureza e ser humano (Herzog, 2016; Herzog & Rosa, 2010). Entretanto, isto muitas vezes não é possível, considerando a rápida expansão das cidades. Passa, então, a ser necessário incluir novas abordagens no planejamento do ambiente urbano, de forma a promover não somente a infraestrutura verde, como também a reduzir a pressão do desenvolvimento urbano e o crescimento populacional sobre a mesma (Calderón-Contreras & Quiroz-Rosas, 2017).

Com efeito, o crescimento populacional e os problemas ambientais resultantes da intensiva ação antrópica no meio natural, como o manejo inadequado da terra

e as mudanças climáticas, têm aumentado as pressões sobre os recursos naturais, colocando a vegetação nativa em estado ameaçado e provocado a degradação dos serviços ecossistêmicos naturais (Lawley et al., 2016).

A falta de planejamento das cidades, aliada a uma gestão urbana precária, e os desequilíbrios sociais afetam a qualidade da paisagem e os padrões de qualidade de vida. A qualidade da paisagem, bem como a qualidade de vida da população urbana, tem efeitos inclusive sobre a produtividade das pessoas, visto que o aumento da qualidade da paisagem pode promover o conforto mental e o estado de felicidade (Gavrilidis et al., 2016). Diante disso, um dos objetivos do desenvolvimento sustentável é justamente promover a melhora na qualidade de vida dos seres humanos, garantindo a sustentabilidade do bem-estar ao longo do tempo. Este fator está fundamentalmente relacionado a dimensão ambiental e a preservação dos recursos ambientais (Streimikiene, 2015).

Estudos como o de Gavrilidis et al. (2016) e Streimikiene (2015) demonstram que a abordagem por indicadores espaciais é útil para avaliação da paisagem urbana, principalmente em cidades e contextos para os quais não se dispõe de um banco de dados pré-organizados nem de ferramentas mais robustas. Ainda que as avaliações em campo forneçam importantes medidas de atributos biofísicos e dados ecológicos detalhados, Lawley et al. (2016) destacam, neste contexto, o contributo dos métodos de sensoriamento remoto, os quais permitem avaliar os indicadores de vegetação em larga escala e identificar as alterações com maior rapidez. Sendo assim, combinar estas duas formas de avaliação é muito eficaz, pois permite compreender melhor os complexos padrões e processos espaciais da vegetação, considerando seus aspectos estruturais, funcionais e de composição.

A fim de construir um índice detalhado e que reflita de forma o mais fiel possível a realidade, é importante que os estudos de vulnerabilidade e fragilidade ambiental sejam baseados não apenas em aspectos teóricos, mas que incluam e sejam apoiados por relações de dados locais e bancos de dados espaciais e de acesso aberto. Além disso, contar com o auxílio de análises pertinentes, tais como a análise multicritério (ex. Análise Hierárquica de Processo) é essencial, visto que a Análise Hierárquica de Processo (AHP) é um dos métodos pelos quais os índices de fragilidade ambiental podem ser modificados e adaptados para se tornarem funcionais também em outros países e contextos ecológicos (Macedo et al., 2018).

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer e aplicar um índice de qualidade ambiental em remanescentes florestais nas bacias hidrográficas do Capivari-Mirim e do Jaguari no município de Campinas/SP, a fim de identificar as principais fragilidades presentes nesses ecossistemas florestais urbanos. Os resultados obtidos poderão auxiliar na proposta de medidas mitigadoras fundamentadas e eficazes capazes de contribuir para a recuperação e gestão ambiental desses remanescentes florestais.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de estudo

De acordo com o Plano Diretor Estratégico, ao avaliar as bacias hidrográficas de Campinas observa-se a ocorrência de regiões com grande aptidão para a produção de água, como é o caso das bacias dos rios Atibaia e Jaguari. Diante desta potencialidade, tais bacias hidrográficas tornam-se, portanto, mais frágeis ao fenômeno da urbanização associado ao adensamento e possível manejo inadequado do solo, que pode resultar em perdas significativas na disponibilidade hídrica tanto em termos de quantidade quanto de qualidade (de Campinas, 2017). O presente trabalho realizou levantamentos em duas bacias hidrográficas do município de Campinas/SP, a bacia de Capivari-Mirim e a do Jaguari, com uma área de 4552,2 e 5576,9 ha, respectivamente. Na Figura 1, pode-se observar as declividades existentes nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari. As classes encontram-se descritas no Quadro 1.

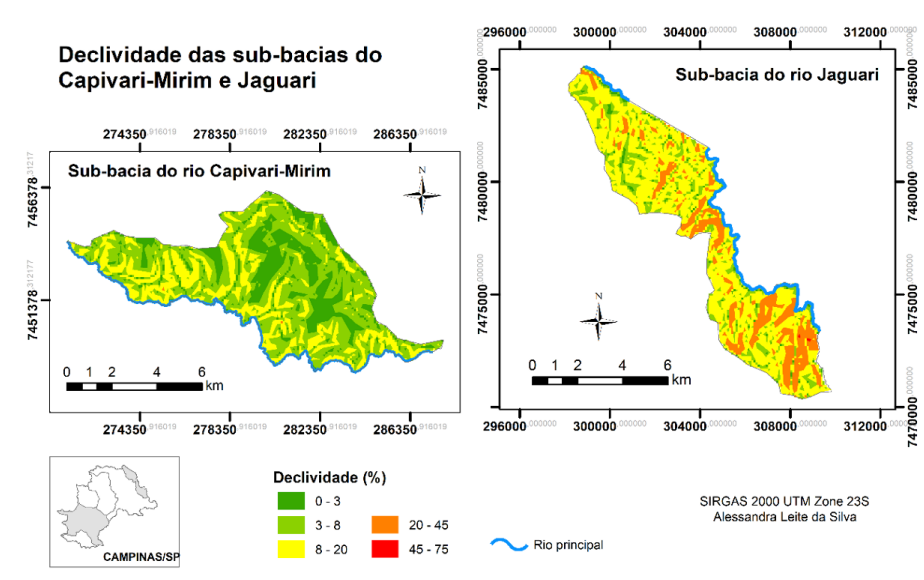


Figura 1. Declividade nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP.

Quadro 1. Distribuição percentual das classes de declividade e tipo de relevo nas bacias dos rios Capivari-Mirim e Jaguari

Declividade (%)	Tipo de relevo	Capivari-Mirim	Jaguari
0-3	Plano	21,88%	2,81%
3-8	Suave ondulado	50,20%	15,29%
8-20	Ondulado	27,88%	61,39%
20-45	Forte ondulado	0,03%	20,44%
45-75	Montanhoso	—	0,07%
>75	Escarpado	—	—

As características do relevo do município das bacias estudadas, avaliadas pelo indicador de declividade, difere significativamente. Na bacia do Capivari-Mirim, o relevo pode ser classificado majoritariamente como suave ondulado, já na bacia do rio Jaguari o relevo se apresenta um pouco mais acidentado (ondulado), chegando a apresentar declividade superior a 45% em algumas áreas. Em relação ao tipo de solo na bacia do Jaguari, a presença dos Argissolos Vermelhos é preponderante, ocupando 44,2% da área total da bacia. Estes solos apresentam coloração avermelhada devido aos teores mais altos de óxidos de ferro e geralmente estão associados a áreas de relevo ondulado. Sua fertilidade é variável, a depender de sua tipologia (Alíticos, Alumínicos, Ta distróficos, Distróficos, Eutroféricos e Eutróficos (AGEITEC, 2019a). Por sua vez, os Latossolos Vermelhos-Amarelos é a classe predominante na bacia do Capivari-Mirim (65,2%). Estes solos são identificados também em áreas extensas ao longo do território nacional e se caracterizam por serem bem drenados, profundos e uniformes em cor, textura e estrutura. Porém, geralmente, em condições naturais apresentam baixos teores de fósforo (AGEITEC, 2019b). Em relação ao uso e ocupação do solo é notória a predominância das classes de uso e ocupação do solo que correspondem a superfícies impermeáveis na bacia do Capivari-Mirim (Classe 4). Já na bacia do Jaguari, observa-se que os usos predominantes são aqueles de menor modificação, correspondentes às Classes 2 e Classe 0, conforme mostram a Figura 2 e o Quadro 2.

- Classe 0 – Paisagem não modificada: Paisagens naturais ou quase naturais, com baixíssimo grau de uso e ocupação do solo. Nesta classe estão os remanescentes florestais.
- Classe 1 – Pequena modificação: Vegetação natural com pequena modificação, baixo grau de uso e ocupação, tais como áreas húmidas, campo natural e áreas de reflorestamento.
- Classe 2 – Modificação média: Áreas de transição, com médio grau de uso e ocupação do solo. Incluem espaço verde urbano e pastagens.
- Classe 3 – Alta modificação: Alto grau de uso e ocupação do solo e de modificação da paisagem natural, como as áreas de cultura perene, semiperene ou temporária.
- Classe 4 – Modificação muito alta: Áreas completamente modificadas, com altíssimo uso e ocupação do solo, como áreas edificadas, loteamentos e solo exposto.

A bacia hidrográfica do Rio Capivari Mirim possui 75 remanescentes florestais que ocupam uma área de, aproximadamente, 435 ha (representando 7,8% da bacia hidrográfica). Já a Bacia hidrográfica do Rio Jaguari possui 324 remanescentes florestais, ocupando uma área de, aproximadamente, 610 ha (representando 13,4% da bacia hidrográfica). Estas constatações demonstram a heterogeneidade das bacias hidrográficas de Campinas e evidenciam as relações entre o adensamento urbano, os usos de solo e também as potencialidades de cada bacia. Para o presente estudo, considerou-se para tanto apenas os remanescentes das tipologias florestais, ou

seja: (1) Floresta Estacional Semidecidual; (2) Floresta Mista; (3) Floresta Paludosa; (4) e o Cerrado.

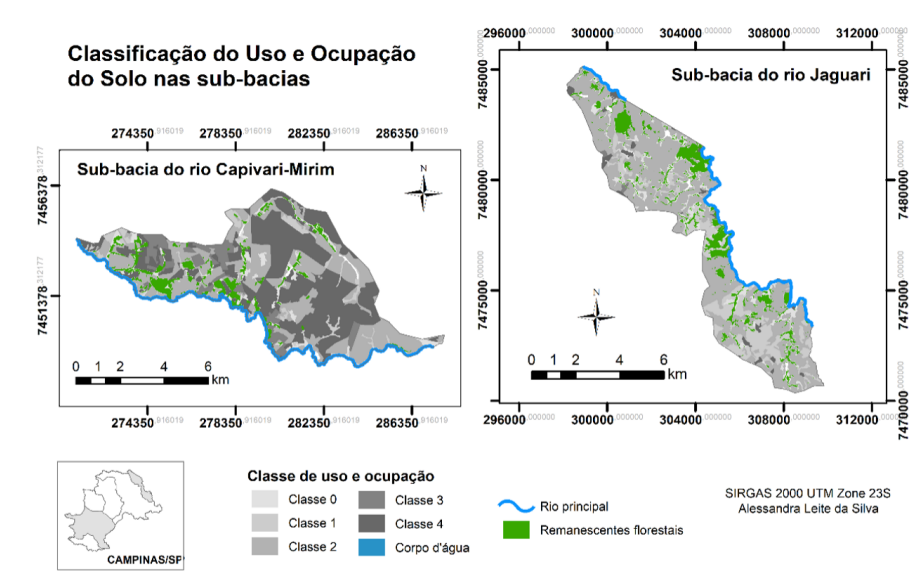


Figura 2. Uso e ocupação do solo nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP.

Quadro 2. Distribuição percentual das classes de uso e ocupação do solo nas bacias dos rios Capivari-Mirim e Jaguari

Classe de uso e ocupação	Capivari-Mirim	Jaguari
Classe 0	12,61%	20,56%
Classe 1	5,04%	16,93%
Classe 2	34,03%	58,34%
Classe 3	7,79%	0,32%
Classe 4	39,79%	2,37%
Corpos d'água	0,74%	1,48%
Total	100,00%	100,00%

2.2. Metodologia

As análises, qualitativa e quantitativa, dos remanescentes florestais foram realizadas pelo software ArcGIS, sendo utilizadas as métricas apontadas por Silva & Longo (2020), como apresentado no Quadro 3.

Quadro 3. Métricas de paisagem adotadas na avaliação da qualidade ambiental segundo Silva & Longo (2020)

Métrica	Descrição
Tamanho do remanescente (AREA)	Segundo Freitas et al. (2013), o tamanho de um remanescente florestal pode ser classificado como: 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).
Índice de Área Central (IAC)	Porcentagem da área central (core) de um remanescente florestal, desconsiderando uma faixa marginal de 60 m, sujeita a efeitos de borda (Calegari et al., 2010; Massoli et al., 2016).
Índice de Circularidade (CI)	Relação entre perímetro P e área A , pela fórmula $CI = \frac{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}}{P}$. Permite classificar o remanescente como alongado ($CI < 0,65$), moderadamente alongado ($0,65 < CI < 0,85$) ou arredondado ($CI \geq 0,85$) (Etto et al., 2013; Fengler et al., 2015).
Distância do vizinho mais próximo (DVP)	Distância euclidiana entre a borda de um remanescente e a borda do remanescente mais próximo (Fernandes et al., 2017).
Proximidade a curso d'água (PROXRIO) e produção de água (AGUA)	Distância euclidiana até o curso de água mais próximo (PROXRIO) e presença de nascentes nos remanescentes (AGUA).
Proximidade entre remanescentes florestais e malha viária (PROXVIAS)	Distância entre os remanescentes e a via mais próxima, com base no mapeamento viário da EMDEC (2013) para o município de Campinas.
Grau de uso e ocupação do solo no entorno (BORDA)	Classe de maior modificação observada na área envolvente de cada fragmento, num raio de 175 m.
Grau de erodibilidade do solo (EROD)	Tipologia do solo predominante em cada remanescente, conforme o Mapa Pedológico Semidetalhado do Município de Campinas (Oliveira et al., 1977).

A partir da avaliação das métricas espaciais de paisagem foi avaliada a qualidade ambiental de remanescente florestal, utilizando para isso o Índice de Qualidade Ambiental (IQrem) apresentado por Silva & Longo (2020) e dado pela Equação 1. Ponderações para as métricas da Equação 1 encontram-se descritas no Quadro 4.

$$IQ_{rem} = 0,079 \cdot AREA + 0,215 \cdot IAC + 0,101 \cdot CI + 0,108 \cdot DVP + 0,053 \cdot PROXRIO + 0,224 \cdot AGUA + 0,085 \cdot BORDA + 0,136 \cdot EROD \quad (1)$$

Onde:

- $AREA$ – Tamanho do remanescente

- *IAC* – Índice de Área Central
- *IC* – Índice de Circularidade
- *DVP* – Distância do vizinho mais próximo
- *PROXRIO*S – Proximidade ao curso d'água
- *AGUA* – Produção de água
- *BORDA* – Grau de uso e ocupação do solo no entorno
- *EROD* – Grau de erodibilidade do solo

Para a obtenção do índice de qualidade ambiental (IQrem), os resultados de cada métrica em cada remanescente da sub-bacia foram classificados e ponderados de acordo com os critérios apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Classes de uso e ocupação do solo

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 (IAC)	<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 (DVP)	-	>200	120 – 200	60 – 120	<60
Proximidade a curso d'água (PROXRIO	-	>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

Por fim, a qualidade ambiental determinada com base no IQrem foi de: Muito Baixa (0,00 – 0,20), Baixa (0,2001 – 0,40), Média (0,4001 – 0,60), Alta (0,6001 – 0,80) ou Muito Alta (0,8001 – 1,00).

3. Resultados e discussão

Na representação gráfica apresentada na Figura 3 é possível observar a relação inversa entre o número de fragmentos e a área que eles ocupam, ainda mais explícita na bacia do Jaguari (Quadro 5). Como evidenciado também por Fernandes et al. (2017), os fragmentos da classe de tamanhos pequenos tendem a apresentar maior número de manchas, porém, assumem menor representatividade de área.

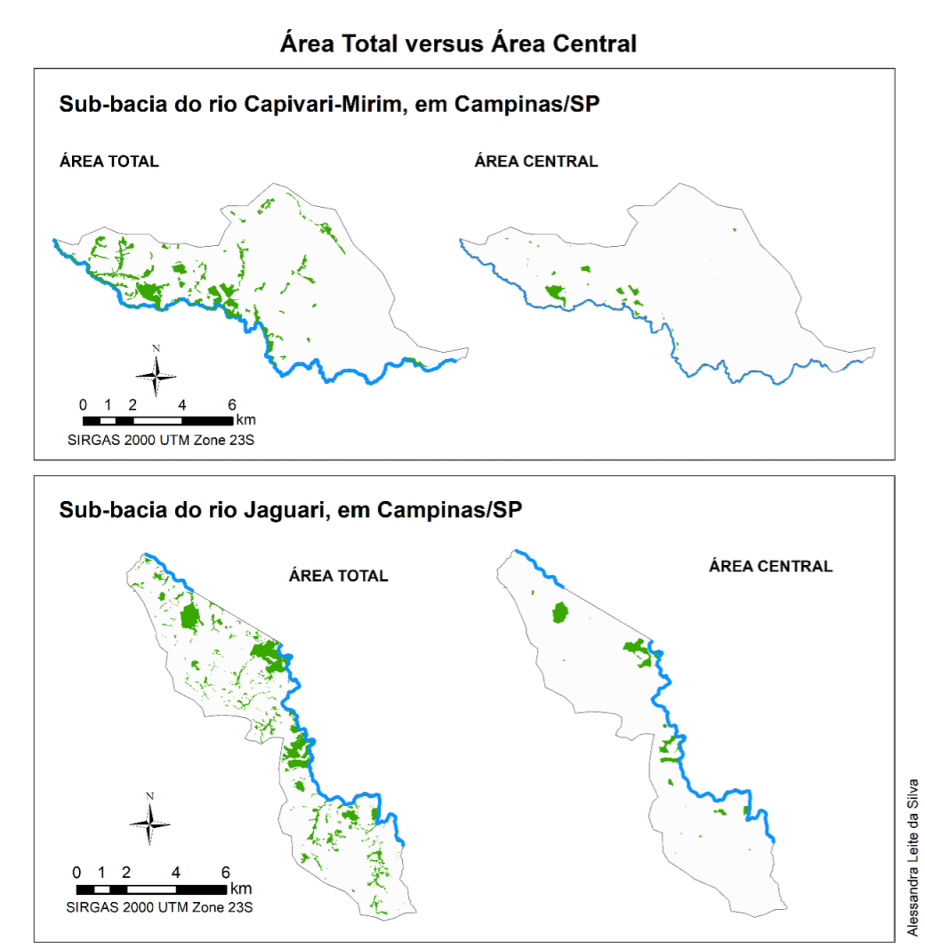


Figura 3. Classificação das áreas total e central nos remanescentes florestais nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP.

De acordo com Fengler (2014), um intenso processo de fragmentação é evidenciado pela presença de um elevado número de remanescentes ou fragmentos florestais na paisagem. Em contrapartida, deduz-se que uma paisagem natural ideal seria aquela onde toda a sua área seria ocupada pela vegetação natural em apenas um maciço florestal (Fengler, 2014). Em paisagens com baixa cobertura nativa (entre 10% e 30%), a disponibilidade de habitat depende, além da cobertura da vegetação, do número de fragmentos disponíveis para as espécies tanto de mobilidade curta como de média e longa. Já em paisagens com baixíssimo percentual de cobertura natural ($< 10\%$), a disponibilidade de habitat depende expressamente do tamanho dos fragmentos, também para todas as espécies. Isto porque, nestas áreas, o isolamento é tão elevado que mesmo para espécies com alta mobilidade, não há maior disponibilidade de habitat (Crouzeilles et al., 2014).

A avaliação do Índice de Área Central (IAC) indicou que, apesar das diferenças entre as bacias analisadas, é baixo o percentual de área nuclear em comparação com o alto percentual de área de borda nos remanescentes florestais. A métrica

NDCA indica o número de remanescentes florestais que apresentam área nuclear superior a zero, ou seja, todos os demais remanescentes não contabilizados aqui são constituídos exclusivamente por área de borda. Apesar do valor de NDCA ser próximo na bacia do Capivari-Mirim e Jaguari, na bacia do Jaguari a redução no número de remanescentes, quando considerada presença de área central foi significativa. Entretanto, mesmo assim, em termos percentuais, na bacia do Jaguari o índice de área central é bastante maior (24,3%) quando comparado ao de Capivari-Mirim (15,4%), conforme os dados do Quadro 6.

Quadro 5. Classificação dos remanescentes florestais por tamanho.

Classificação	AREA (ha)	Capivari-Mirim		Jaguari	
		Rem. (%)	Área (%)	Rem. (%)	Área (%)
Muito pequeno	< 0,50	8,00	0,36	66,98	5,75
Pequeno	0,50 – 1,00	20,00	2,49	14,20	5,37
Médio	1,00 – 5,00	50,67	20,77	11,42	14,12
Bom	5,00 – 20,00	16,00	31,60	5,56	26,32
Adequado	> 20,00	5,33	44,78	1,85	48,43

Quadro 6. Métricas de paisagem para os remanescentes florestais nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP.

Métrica	Capivari-Mirim	Jaguari
N. remanescentes	75	324
NDCA	19	20
NDCA (%)	25,33	6,17
Área total (ha)	434,34	610,34
Área central (AC) (ha)	66,93	142,15
IAC (%)	15,4	23,3

Nota: NDCA indica o número de remanescentes florestais que apresentam área nuclear superior a zero.

A redução de NDCA na bacia do Jaguari pode estar tanto associada a presença predominante de remanescentes muito pequenos, quanto ao formato irregular e alongado dos mesmos (Fernandes & Fernandes, 2017; Fernandes et al., 2017; Jesus et al., 2015). Como destaca o “Plano do Verde” do município de Campinas, a diminuição da cobertura vegetal tem provocado o aumento da fragmentação florestal e do efeito de borda, o que pode diminuir a qualidade ambiental destas áreas, provocando sérios prejuízos à fauna e flora (de Campinas, 2015).

Um dos motivos pelos quais o Índice de Área Central (IAC) foi baixo nas bacias hidrográficas analisadas, Capivari-Mirim e Jaguari, pode ser atribuído, além da predominância de remanescentes florestais pequenos e muitos pequenos, ao formato irregular e/ou alongado dos mesmos. De acordo com o Índice de Circularidade (IC), em todas as bacias hidrográficas, os remanescentes florestais apresentam formato predominantemente alongado ($IC < 0,65$); entretanto, este valor é ainda mais significativo para os remanescentes da bacia do Jaguari (Quadro 7).

Quadro 7. Índice de circularidade e formato dos remanescentes florestais nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP.

Índice de Circularidade	Forma	Capivari-Mirim	Jaguari
0,65	Alongada	62,70%	75,90%
> 0,65 – 0,85	Moderadamente alongada	29,30%	18,20%
> 0,85	Arredondada	8,00%	5,90%
Total		100,00%	100,00%
Mínimo		0,14	0,15
Máximo		0,92	0,97
Mediana		0,59	0,53
Média		0,59	0,53
Desvio-padrão		0,18	0,18

Quanto à distância do vizinho mais próximo, a métrica DVP apontou diferenças consideráveis entre as duas bacias, conforme apresentado no Quadro 8. Na bacia do Jaguari, mais de 70% dos remanescentes encontram-se a menos de 60 m do seu vizinho mais próximo. Isto pode representar um fator positivo, indicando a possibilidade de melhor fluxo gênico tanto de fauna quanto de sementes (Fernandes & Fernandes, 2017). Entretanto, é importante lembrar que esta métrica tem relação direta com as características de uso e ocupação do solo, sendo que a bacia do Capivari-Mirim apresenta, predominantemente, usos mais consolidados como áreas degradadas, ruas pavimentadas, edificações, etc.

Quadro 8. Distância do vizinho mais próximo (DVP) nos remanescentes florestais nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP.

Distância do vizinho mais próximo DVP (m)	Capivari-Mirim	Jaguari
≤ 60,00	58,70%	75,30%
> 60,00 - 120,00	14,70%	14,80%
>120,00 - 200,00	9,30%	6,20%
> 200,00	17,30%	3,70%
Total	100,00%	100,00%
Mínimo	0	0
Máximo	940,05	335,41
Mediana	51,24	20,16
Média	115,87	45,82
Desvio-padrão	176,62	59,94

Estas constatações permitem observar a estreita relação entre o grau de uso e ocupação do solo e a fragmentação das paisagens, que conduz à perda de conectividade entre os habitats naturais. Além disso, é importante considerar que, individualmente, o grau de isolamento dos remanescentes pode não refletir exatamente

a conectividade estrutural e funcional de determinada paisagem; isto porque fatores como a permeabilidade da matriz são fatores determinantes (Moro & Milan, 2016). Ou seja, o uso e ocupação no entorno destes remanescentes pode indicar se há condições ou não de conectividade estrutural e funcional desta paisagem.

Sendo assim, considerando estas condições de conectividade e as condições de uso e ocupação do solo verifica-se um potencial para o estabelecimento de corredores ecológicos, sobretudo em bacias como Atibaia e Jaguari e regiões específicas de outras bacias. De forma geral, os corredores ecológicos consistem em uma estratégia que visa reduzir os efeitos da fragmentação florestal, através de ações voltadas para a conexão de remanescentes florestais. Desta forma, é construída na paisagem uma estrutura que garante o deslocamento e dispersão das espécies da fauna e da flora (Moraes et al., 2015; Pereira & Cestaro, 2016). Esta é inclusive uma das prioridades definidas no Novo Código Florestal – “Lei de Proteção da Vegetação Nativa” (Lei Nº 12.651/2012) (BRASIL, 2012).

Por sua vez, a proximidade dos remanescentes florestais com a malha viária, avaliada a partir da métrica PROXVIAS é um fator significativo que atua como fonte de pressão, aumentando a perturbação ambiental sobre estas áreas florestais. Por meio deste indicador constatou-se que em ambas as bacias hidrográficas a maior parte dos remanescentes encontra-se a menos 60 m de alguma via (logradouro). Apesar disto, na bacia do Capivari esta é uma condição muito mais problemática, dado representar uma condição de mais de 80% dos remanescentes florestais (Quadro 9). Vale lembrar que, de acordo com Fengler et al. (2015), somente a partir dos 200 m de distância os efeitos da malha viária sobre a qualidade dos remanescentes começam a se tornar pouco efetivos. Além disso, quanto menor a distância entre um fragmento e as vias de acesso, maior será a sua prioridade em termos de recuperação (Fengler et al., 2015; Freitas et al., 2013).

Quadro 9. Proximidade de Remanescentes Florestais com a Malha Viária (PROXVIAS) nas Sub-Bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP

PROXVIAS (m)	Capivari-Mirim	Jaguari
< 60,00	81,30%	34,90%
60,00 - 120,00	6,70%	19,40%
120,00 - 200,00	5,30%	19,40%
200,00	6,70%	26,20%
Total	100,00%	100,00%
Mínimo	0	0
Máximo	457,81	684,97
Mediana	8,04	106,2
Média	41,88	142,11
Desvio-padrão	82,66	140,13

Apesar das diferenças nas condições das duas bacias hidrográficas, a métrica PROXRIOS indicou que a distância média entre os remanescentes florestais e o

curso d'água mais próximo não apresenta valores muito diferentes, 81,3% e 88,6%, respectivamente para os remanescentes do Capivari-Mirim e Jaguari, conforme apresentado no Quadro 10.

Quadro 10. Proximidade a Curso d'Água (PROXRIOs) nos Remanescentes Florestais nas Sub-Bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP

PROXRIOs (m)	Capivari-Mirim	Jaguari
< 60,00	81,30%	88,60%
60,00 - 120,00	6,70%	7,40%
120,00 - 200,00	8,00%	3,40%
> 200,00	4,00%	0,60%
Total	100,00%	100,00%
Mínimo	0	0
Máximo	499,23	274,35
Mediana	0	0
Média	34,57	20,38
Desvio-padrão	83,56	40,84

É importante destacar que a proteção dos recursos hídricos através da presença de vegetação na sua envolvente é um preceito já previsto no Novo Código Florestal (Lei Federal Nº 12.651/2012) sob o conceito de Área de Preservação Permanente (APP) que, dentre outras funções ambientais, facilitam o fluxo gênico e contribuem para a preservação dos recursos hídricos. Isto indica que os remanescentes próximos aos cursos d'água apresentam uma função ainda mais específica. Diante disto, o município de Campinas, no seu Plano Diretor, já ressaltou a problemática da falta de matas ciliares e a necessidade de investimento na recuperação e conservação das APP no entorno dos corpos hídricos (de Campinas, 2017).

Com relação à produção de água (AGUA), avaliada pela presença de nascentes no interior dos remanescentes florestais, constatou-se que nas duas bacias hidrográficas a maior parte dos remanescentes florestais não abrigam nascentes em seu interior. Na bacia do Capivari-Mirim apenas 24,0% dos remanescentes apresenta nascente em seu interior; no Jaguari este valor é de apenas 13,6%. Isto não se deve ao possível baixo número de nascentes no município, pelo contrário, conforme se vê na Figura 4, existem muitas nascentes mapeadas no município. Entretanto, apesar da alta densidade de cursos d'água e de nascentes nas bacias hidrográficas de Campinas, muitas das nascentes do município encontram-se desprotegidas.

Fica evidente a alta potencialidade hídrica, especialmente da bacia do Jaguari; diante disso, esta bacia torna-se mais sensível ao processo de urbanização, adensamento e manejo inadequado do solo; o que pode afetar a disponibilidade hídrica, provocando perdas na quantidade e na qualidade das águas (de Campinas, 2017).

A avaliação do uso e ocupação do solo no entorno destes remanescentes, junto ao tamanho e formato dos mesmos, é um fator bastante significativo para a in-

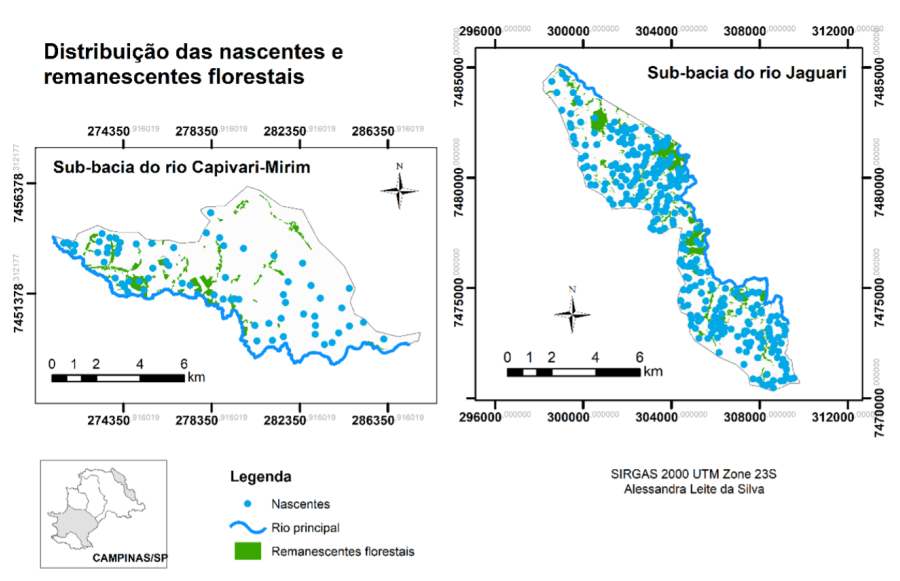


Figura 4. Produção de Água (AGUA) nos remanescentes florestais nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP.

tensidade do efeito de borda, visto que características diferentes no entorno destes remanescentes podem provocar manifestações de efeitos de borda de forma e em extensões distintas (Blumenfeld et al., 2016). Nestes casos, onde já existe um estado de consolidação urbana faz-se necessário abordagens específicas de planejamento que incluam propostas tanto de promoção de infraestrutura quanto de amenização dos impactos do crescimento urbano e populacional sobre a mesma (Calderón-Contreras & Quiroz-Rosas, 2017).

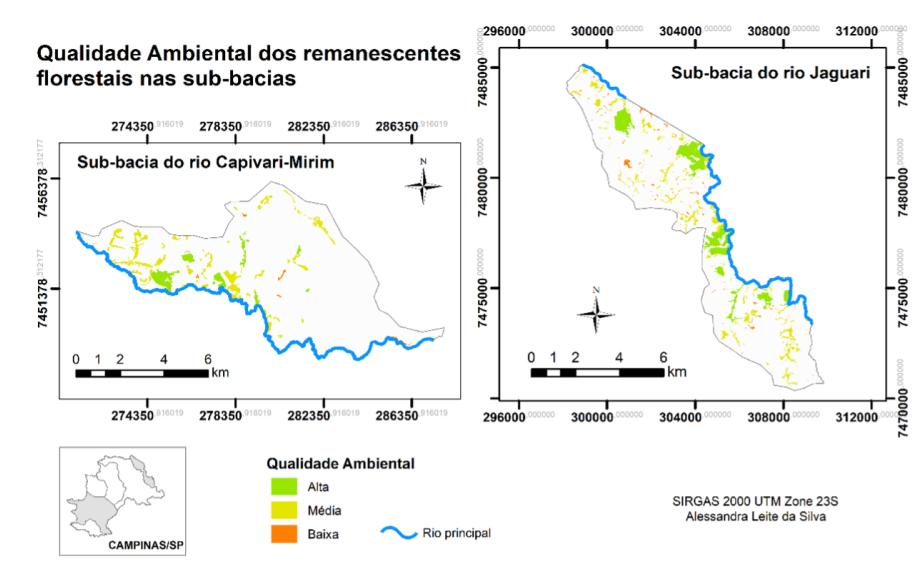
A partir da métrica BORDA, verificou-se que na bacia do rio Jaguari a maioria dos remanescentes florestais faz contato com áreas classificadas como Classe 2, ou seja, nas quais predominam atividades rurais como pastagem e cultivo. Por sua vez, na bacia do Capivari-Mirim a condição é completamente diferente, onde mais de 80% dos remanescentes têm sua borda em contato direto com as áreas altamente antropizadas (Classe 4) (Quadro 11). Isto implica um efeito de borda com características distintas entre os remanescentes destas duas bacias.

A métrica de EROD permitiu constatar o grau de erodibilidade do solo predominante nos remanescentes florestais em cada bacia hidrográfica. Os remanescentes presentes na bacia do Rio Jaguari são aqueles que apresentam os maiores graus de susceptibilidade à erosão. Estes resultados reforçam a necessidade de implantação de práticas adequadas de conservação tanto para o solo como para a água, capazes de reduzir a velocidade do escoamento superficial, aumentar a infiltração e, portanto, prevenir os processos erosivos (Chará et al., 2007; Santos et al., 2000).

Em relação à qualidade ambiental dos remanescentes, avaliada pelo IQrem, constatou-se que na bacia do Capivari-Mirim os remanescentes se dividem em três classes de qualidade: média (76,0%), baixa (13,3%) e alta (10,7%) (Figura 5 e Quadro 12).

Quadro 11. Classes de Uso e Ocupação dos Solos nas Áreas de Borda nos Remanescentes Florestais nas Sub-Bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP

Classe (fragmentos)	Capivari-Mirim	Jaguari
Classe 0	-	-
Classe 1	-	0,60%
Classe 2	8,00%	81,50%
Classe 3	10,70%	1,50%
Classe 4	81,30%	16,40%
Total	100,00%	100,00%

**Figura 5.** Qualidade ambiental nos remanescentes florestais nas sub-bacias do Capivari-Mirim e Jaguari em Campinas/SP.

Este índice reflete todas as condições críticas associadas aos remanescentes desta bacia. Nota-se que, de forma geral, os remanescentes com qualidade alta são maioritariamente aqueles que apresentam a maior área. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2019), Silva & Longo (2020) e Silva et al. (2021) ao estudarem, respectivamente, as bacias hidrográficas do Ribeirão Anhumas, do Rio Atibaia e do Rio Capivari, também no município de Campinas/SP.

Apesar de ser a bacia hidrográfica com menor percentual de áreas destinadas a usos urbanos e onde predominam usos como pastagem, campo natural, áreas de reflorestamento etc., a bacia do Jaguari foi a que apresentou o menor percentual de remanescentes florestais com IQrem alto. São apenas 8 remanescentes (2,5%) com qualidade ambiental alta, ao passo que 71,6% apresentaram qualidade média; entretanto, também é elevado o percentual de remanescentes com qualidade baixa,

Quadro 12. Qualidade Ambiental dos Remanescentes Florestais

Qualidade Ambiental	Capivari-Mirim	Jaguari
Muito baixa	-	-
Baixa	10 (13,3%)	84 (25,9%)
Média	57 (76,0%)	232 (71,6%)
Alta	8 (10,7%)	8 (2,5%)
Muito alta	-	-
Total	75 (100%)	324 (100%)

25,9% (Figura 5 e Quadro 12). Isto pode estar associado não apenas a um intenso processo de fragmentação florestal na área, mas também às condições naturais da área.

Neste contexto, é importante discutir o importante papel que a infraestrutura verde desempenha dentro das cidades, para que programas de recuperação e conservação desses espaços sejam implementados e monitorados com sucesso. Chaves et al. (2022) e Bordim et al. (2022) discutiram o papel da vegetação nas áreas urbanas destacando a sua contribuição para a melhoria do microclima e para a diminuição da concentração de CO₂.

4. Considerações finais

Os remanescentes florestais são áreas de valor ecológico excepcional, principalmente quando localizados em paisagens intensamente urbanizadas, como é o caso da área em estudo. Neste estudo foi utilizado um conjunto de métricas estruturais da paisagem, e sua qualidade ambiental foi avaliada através de um índice de qualidade em que a presença de nascentes de água e o índice de circularidade foram as variáveis que mais determinaram a qualidade ambiental. Os resultados mostram que uma percentagem muito reduzida de remanescentes apresenta qualidade ambiental alta. A grande maioria possui qualidade ambiental média ou baixa, o que está relacionado com o seu reduzido tamanho, a sua forma alongada e a proximidade de áreas altamente antropizadas, que exercem forte pressão sobre os remanescentes. Estes resultados sugerem a necessidade de implementar medidas de recuperação e de conservação dos remanescentes atuais, de modo a garantir a sua integridade física e funcional.

A avaliação da qualidade ambiental dos remanescentes florestais à escala da bacia hidrográfica, especialmente com base em análises espaciais, constitui uma ferramenta eficaz para as autoridades municipais, pois fornece diretrizes úteis para subsidiar o planeamento urbano e a gestão ambiental municipal. O uso de métricas da paisagem mostrou-se eficaz para avaliar a qualidade ambiental dos remanescentes, podendo ser recomendado como instrumento para a avaliação primária de remanescentes de vegetação natural em diferentes áreas geoespaciais e ambientes fitofisionômicos.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela Bolsa de Mestrado concedida ao primeiro autor (Processo nº 2017/26603-4) e pelo financiamento com projeto regular de pesquisa (Processo nº 2018/17250-3).

Bibliografia

- AGEITEC, E. B. D. P. A. (2019a). Argissolos Vermelhos [Acesso em: 17 fevereiro de 2019a]. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gmziudsg02wx5ok0liq1mqdz33gbr.html
- AGEITEC, E. B. D. P. A. (2019b). Latossolos Vermelho-Amarelos [Acesso em: 17 fevereiro de 2019b]. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html
- Blumenfeld, E., Santos, R. F. d., Thomaziello, S. A., & Ragazzi, S. (2016). Relações entre o tipo de vizinhança e efeitos de borda em fragmento florestal. *Ciência Florestal*, 26(4), 1301–13016. <https://doi.org/10.5902/1980509825150>
- Bordim, M. H. S., Longo, R. M., & Bordim, B. S. (2022). Sustentabilidade ambiental urbana: análise da influência da vegetação em parâmetros ambientais. *Rev. Gest. Ambiente e Sust. – GeAS*, 11(1), 1–24. <https://doi.org/10.5585/geas.v11i1.19447>
- Calderón-Contreras, R., & Quiroz-Rosas, L. (2017). Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: A case from Mexico City. *Ecosystem Services*, 23, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.004>
- Calegari, S., L. Martins, Venâncio, J., Gleriani, Silva, E., & Busato, L. C. (2010). Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. *Revista Árvore*, 34(5), 871–880. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500012>
- Chará, J., Pedraza, G., Giraldo, L., & Hincapié. (2007). Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería en las Américas*, 45, 72–78.
- Chaves, J., Mota, L., Ribeiro, A., Longo, R., Barros, D., & Alves, J. R. (2022). Rede de Sensores para avaliação de variáveis meteorológicas em áreas verdes urbanas: desenvolvimento e aplicações. *Sociedade e Natureza*, 34, e64675. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-64675>
- Crouzeilles, R., Figueiredo, M. d. S. L., Prevedello, J. A., & Grelle, C. E. V. (2014). The effects of the number, size and isolation of patches along a gradient of native vegetation cover: how can we increment habitat availability? *Landscape Ecology*, 29, 479–489. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9978-6>
- de Campinas, P. M. (2017). Plano Diretor Estratégico. <https://planodiretor.campinas.sp.gov.br/>
- de Campinas, P. M. (2015). Plano Municipal do Verde. <https://portal.campinas.sp.gov.br/secretaria/verde-meio-ambiente-e-desenvolvimento-sustentavel>
- Etto, T. L., Longo, R. M., Arruda, D., & Invenioni, R. (2013). Ecologia da paisagem de remanescentes florestais na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras - Campinas - SP. *Revista Árvore*, 37(6), 1063–1071. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600008>
-

- Fengler, F. H. (2014). *Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim* [diss. de maestr., Instituto Agrônomo de Campinas] [127 f. Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical].
- Fengler, F. H., Moraes, J. F. L. d., Ribeiro, A. I., Filho, A. P., Storino, M., & Medeiros, G. (2015). Environmental quality of forest fragments in Jundiá-Mirim river basin between 1972 and 2013. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(4), 402–408. <https://doi.org/10.1590/1807>
- Fernandes, M., Fernandes, M., Almeida, A., Gonzaga, M. I. d. S., & Gonçalves, F. (2017). Ecologia da Paisagem de uma Bacia Hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. *Floresta e Ambiente*, 24, e00025015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.025015>
- Fernandes, M., & Fernandes, R. D. M. (2017). Análise Espacial da Fragmentação Florestal da Bacia do Rio Ubá – RJ. *Ciência Florestal*, 27(4), 1429–1439. <https://doi.org/10.5902/1980509830330>
- Fraga, N. C., & Gavriloff, A. C. M. (2014). Instrumentos de Gestão Urbana e a Evolução da Ocupação em Curitiba: O Caso da Operação Urbana Consorciada Linha Verde. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, 5(1), 60–83.
- Freitas, E. P., Moraes, J., Filho, A. P., & Storino, M. (2013). Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(4), 443–449. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400013>
- Gavrilidis, A., Ciocănea, C. M., Niță, M. R., Onose, D. A., & Năstase, I. I. (2016). Urban Landscape Quality Index – planning tool for evaluating urban landscapes and improving the quality of life. *Procedia Environmental Sciences*, 32, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.020>
- Herzog, C. P. (2016). A multifunctional green infrastructure design to protect and improve native biodiversity in Rio de Janeiro. *Landscape Ecology Engineering Journal*, 12, 141–150. <https://doi.org/10.1007/s11355-013-0233-8>
- Herzog, C. P., & Rosa, L. Z. (2010). Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. *Revista LABVERDE*, (1), 92–115.
- Jesus, E. N., Ferreira, R. A., Aragão, A., Santos, T. I., & Rocha, S. L. (2015). Estrutura dos fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Poxim-SE, como subsídio à restauração ecológica. *Revista Árvore*, 39(3), 467–474. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000300007>
- Lawley, V., Lewis, M., Clarke, K., & Ostendorf, B. (2016). Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. *Ecological Indicators*, 60, 1273–1283. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.021>
- Longo, R. M., da Silva, A. L., Ribeiro, A. I., Gomes, R. C., Sperandio, F. C., & Nunes, A. N. (2024). Evaluating the Environmental Quality of Forest Remnants Using Landscape Metrics. *Sustainability*, 16(4), 1543. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su16041543>
- Macedo, D. R., Hughes, R., Kaufmann, P., & Callisto, M. (2018). Development and validation of an environmental fragility index (EFI) for neotropical savannah biome. *Science of the Total Environment*, 635, 1267–1279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.216>
- Massoli, J. V., Statella, T., & Santos, V. S. (2016). Estimativa da fragmentação florestal na microbacia Sepotubinha, Nova Marilândia - MT, entre os anos de 1990 a 2014.
-

- Caminhos de Geografia*, 17(60), 48–60. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14393/RCG176004>
- Moraes, M. C. P., Mello, K., & Toppa, R. H. (2015). Análise da paisagem de uma zona de amortecimento como subsídio para o planejamento e gestão de Unidades de Conservação. *Revista Árvore*, 39(1), 1–8. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100001>
- Moro, R. S., & Milan, E. (2016). Natural Forest Fragmentation Evaluation in the Campos Gerais Region, Southern Brazil. *Environment and Ecology Research*, 4(2), 74–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.13189/eer.2016.040204>
- Oliveira, A. P. G., Miotto, C. L., Filho, A. C. P., Gamarra, R. M., Ribeiro, A. A., & Melotto, A. M. (2015). Uso de geotecnologias para o estabelecimento de áreas para corredores de biodiversidade. *Revista Árvore*, 39(4), 595–602. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000400001>
- Oliveira, J. B., Menk, J. R. F., & Rotta, C. L. (1977). *Levantamento semidetalhado dos solos do estado de São Paulo. Quadrícula de Campinas* [Mapa, escala 1:100.000]. Instituto Agrônômico.
- Pereira, V. H. C., & Cestaro, L. A. (2016). Corredores Ecológicos no Brasil: Avaliação sobre os principais critérios utilizados para definição de áreas potenciais. *Caminhos de Geografia*, 17(58), 16–33. <https://doi.org/10.14393/RCG175802>
- Saito, N. S., Moreira, M. A., Santos, A. R., Coelho, F. E., & Figueiredo, A. C. (2016). Geotecnologia e Ecologia da Paisagem no Monitoramento da Fragmentação Florestal. *Floresta e Ambiente*, 23(2), 201–210.
- Santos, C. A. G., Suzuki, K., Watanabe, M., & Srinivasan, V. (2000). Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(1), 92–96. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.119814>
- Silva, A. L., & Longo, R. M. (2020). Ecologia da paisagem e qualidade ambiental de remanescentes florestais na sub-bacia hidrográfica do Rio Atibaia dentro do município de Campinas-SP. *Revista Ciência Florestal*, 30(4), 1176–1191. <https://doi.org/10.5902/1980509842640>
- Silva, A. L., Longo, R. M., Bressane, A., & Carvalho, M. F. H. (2019). Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. *Revista Ciência Florestal*, 29(3), 1254–1269. <https://doi.org/10.5902/1980509830201>
- Silva, A. L., Ribeiro, A. I., & Longo, R. M. (2021). Qualidade ambiental de remanescentes florestais na Sub-Bacia Do Rio Capivari (Campinas/SP). *Revista Sociedade e Natureza*, 33, e59129. <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-59129>
- Streimikiene, D. (2015). Environmental indicators for the assessment of quality of life. *Intellectual Economics*, 9, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.intele.2015.10.001>
-