



Dinâmica temporal dos usos da terra, atributos físicos e hemerobia do município de Sorocaba (SP): subsídios para o planejamento em municípios metropolitanos

Fabio Leandro da Silva

Pós-Doutorando, Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
fabioleandro@alumni.usp.br

Welber Senteio Smith

Professor Doutor, Universidade Paulista, Brasil.
welber_smith@uol.com.br

Marcela Bianchessi da Cunha-Santino

Professora Doutora, Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
cunha_santino@ufscar.br

Irineu Bianchini Júnior

Professor Doutor, Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
irineu@ufscar.br

Denise Balestrero Menezes

Professora Doutora, Universidade Federal de São Carlos, Brasil
denisebm@ufscar.br

RESUMO

O acompanhamento dos padrões de uso e cobertura da terra, a consideração dos atributos do meio físico e o emprego de indicadores de paisagem, como a hemerobia, podem ser de grande auxílio para o planejamento e a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Nesse sentido, o presente estudo verificou a dinâmica temporal dos usos e cobertura da terra no município de Sorocaba (SP) entre 2007 e 2017. Também foram consideradas as características do ambiente físico (i.e., declividade e hipsometria) e empregou-se a hemerobia, com o intuito de fornecer bases para o planejamento. Os resultados demonstraram o predomínio das seguintes tipologias: área urbanizada, vegetação nativa, pastagem e lavoura temporária. A área do município é marcada pela baixa variação nas classes hipsométricas e baixa declividade, situação que favorece a ocupação do território. Os graus de hemerobia predominantes são euhemerobiótico e metahemerobiótico, ambos refletindo grande interferência antropogênica, baixa capacidade de autorregulação, alta necessidade de manejo humano e dependência tecnológica. Assim, os projetos de expansão urbana devem considerar as características do território e adotar medidas que minimizem os impactos ambientais, favorecendo a mudança das unidades da paisagem com alta hemerobia para graus de menor interferência antropogênica e dependência tecnológica.

PALAVRAS-CHAVE: Ecologia da Paisagem. Naturalidade. Meio Físico.

1 INTRODUÇÃO

A humanidade vive no Antropoceno, período marcado por profundas consequências ambientais e humanas (CORLETT, 2015; ALBERTI, 2024). O aumento das áreas urbanizadas traz desafios relacionados à depredação dos recursos naturais, à manutenção da funcionalidade dos ecossistemas e ao bem-estar humano.

O ritmo acelerado de crescimento dos municípios brasileiros tem favorecido a conversão de paisagens naturais em usos antropogênicos, afetando diretamente a provisão de serviços ecossistêmicos (e.g., provisão de água, purificação do ar, recreação) para a sociedade, especialmente em regiões metropolitanas (OLIVEIRA-ANDREOLI et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2023). Os ambientes dominados pelos humanos são caracterizados pela alta densidade demográfica e áreas modificadas, situação que contribui para uma série de consequências ecológicas e demanda a implementação de estratégias sustentáveis (WU, 2014; KONG, LIU, WU, 2020). O meio biofísico das cidades é enquadrado como um agente fornecedor de serviços ecossistêmicos (BOONE et al., 2012). Dessa forma, a realização de avaliações integradas das interferências humanas na paisagem constitui um tópico necessário para a promoção do manejo adequado.

Alguns problemas de gestão ambiental somente se manifestam na escala espacial, e as pesquisas regionais fornecem as bases para a abordagem dessas questões (ERICKSEN, INGRAM, LIVERMAN, 2009). Uma melhor compreensão dos problemas ambientais é possível pelo entendimento das ações humanas nas escalas espaciais e temporais, além dos gradientes ambientais e de governança que ocorrem na paisagem (URIARTE et al., 2011). Portanto, abordagens em regiões metropolitanas, marcadas por grande densidade populacional e paisagens altamente urbanizadas, contribuem para a identificação dos problemas ambientais no território devido à perda de naturalidade.

O acompanhamento dos padrões de mudanças da paisagem permite uma

caracterização indireta das consequências ecológicas decorrentes das atividades antropogênicas. Os usos e ocupações da terra representam o componente humano em uma paisagem, pois exercem forte impacto na integridade ecológica e influenciam a provisão dos serviços ecossistêmicos de forma qualitativa e quantitativa (JACK, KOUSKY, SIMS, 2008; BURKHARD et al., 2012; LARONDELLE, HAASE, 2013).

Uma análise da paisagem por meio de indicadores ambientais pode ser de grande valia para a verificação da dinâmica de perda de naturalidade e aumento da artificialização decorrente das atividades antropogênicas (FUSHITA et al., 2017). Esse fator possibilita a descrição da área de estudo ao englobar as esferas socioeconômica e ambiental em um dado momento no tempo, fornecendo base científica para o manejo e planejamento dos sistemas socioecológicos (BOTEQUILHA-LEITÃO; AHERN, 2002).

A identificação dos padrões espaço-temporais e dos processos que os conduzem contribui para a elaboração de políticas de intervenção direcionadas ao nível da paisagem, favorecendo o planejamento, a conservação da biodiversidade, o manejo dos recursos hídricos e a provisão dos serviços ecossistêmicos (SILVA et al., 2022). Dessa forma, o monitoramento dos padrões da paisagem é uma ferramenta de grande valia para a tomada de decisão e o planejamento, especialmente em áreas altamente urbanizadas.

Esse processo pode ser favorecido mediante a consideração da estrutura e das transformações da paisagem, bem como o entendimento dos processos associados (BARBARA et al., 2014) e a caracterização ambiental (e.g., declividade, hipsometria). A conservação dos elementos naturais provedores de serviços ecossistêmicos deve ser pautada em uma gestão ambiental municipal adequada e na consideração das modificações da paisagem. Diante disso, a hemerobia, indicador proposto por Jalas em 1955, consiste em um meio para verificar a proximidade com o natural e a capacidade de regulação dos elementos existentes na paisagem (WALZ; STEIN, 2014). O emprego de uma abordagem que considere a dinâmica temporal dos usos e cobertura da terra, as características físicas do ambiente e os graus de hemerobia da paisagem pode ser de grande valia para o planejamento.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo verificar a dinâmica temporal dos usos da terra no município de Sorocaba (SP) entre os anos de 2007 e 2017, realizar a caracterização ambiental e avaliar o grau de artificialidade da paisagem por meio do grau de hemerobia, com o intuito de gerar informações que possam subsidiar o planejamento do ambiente físico em um município metropolitano.

2 OBJETIVO

Verificar a dinâmica temporal dos usos da terra no município de Sorocaba (SP) entre os anos de 2007 e 2017, por meio de uma caracterização ambiental e avaliação do grau de artificialidade da paisagem (hemerobia).

3 MÉTODO DE ANÁLISE

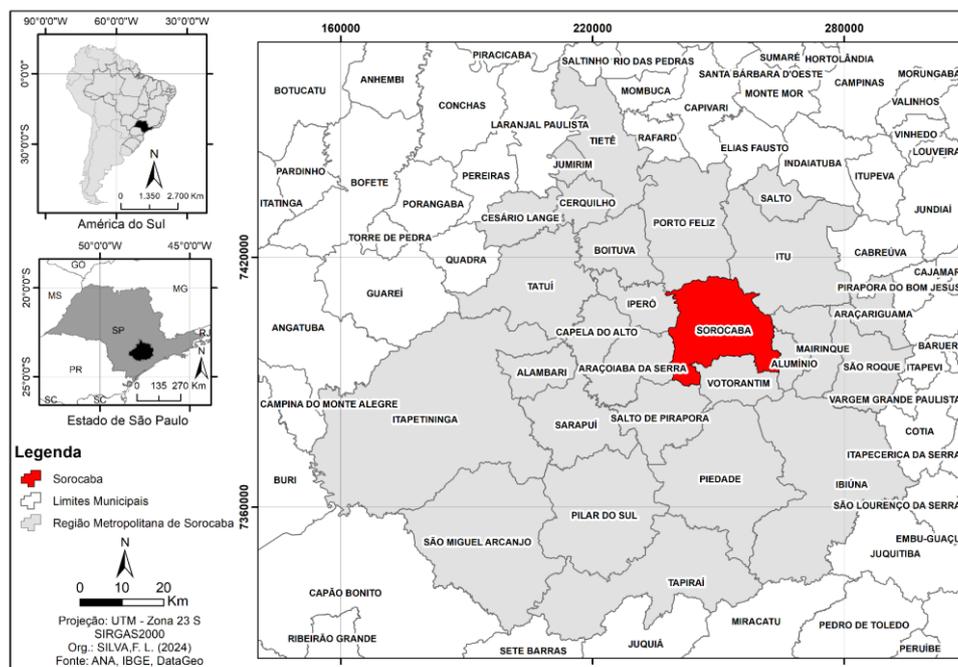
3.1. Área de Estudo

O município de Sorocaba ($47^{\circ} 34' 12,000''$ W / $23^{\circ} 21' 3,600''$ S e $47^{\circ} 18' 10,800''$ W / $23^{\circ} 35' 20,058''$ S) está localizado na região sudoeste do estado de São Paulo (Figura 1). A área total do município é de 450,382 km² e, segundo o censo demográfico realizado em 2022, a população total é de 723.682 habitantes (IBGE, 2024). O município está inserido em uma região caracterizada pela vocação industrial (CETESB, 2023) e está localizado na bacia hidrográfica do rio Sorocaba, cuja área de drenagem faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sorocaba-Médio Tietê (UGRHI 10).

Cabe salientar que o referido município faz parte da Região Metropolitana de Sorocaba (RMS). Tal região foi criada pela Lei Complementar nº 1.241/2014 (SÃO PAULO, 2014), com objetivos que incluem a promoção de um planejamento regional e a utilização racional dos recursos existentes no território. A RMS é composta por 27 municípios agrupados em três sub-regiões (Sub-região 1, Sub-região 2 e Sub-região 3), sendo que o município de Sorocaba (SP) integra a Sub-região 3 (SÃO PAULO, 2014), a mais densamente ocupada e industrializada. Na área residem mais de 1,7 milhão de habitantes, e a RMS é responsável pela geração de 45,4 bilhões de reais (IPEA, 2017).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por uma estação seca e outra chuvosa, com uma média anual de precipitação de 1.219 mm (CLIMATE-DATA, 2024). De acordo com o levantamento florestal realizado pelo Estado em 2020 (SÃO PAULO, 2020), os remanescentes florestais na região do município de Sorocaba são classificados como Floresta Estacional Semidecídua e Floresta Ombrófila Densa.

Figura 1 – Localização geográfica do município de Sorocaba



Fonte: Os autores.

3.2. Procedimentos Metodológicos

Os usos e cobertura da terra foram obtidos por meio da digitalização manual de polígonos em duas imagens de satélite: uma Landsat 5 (sensor TM, órbita: 2020, ponto: 76, datada de 20 de junho de 2007, com resolução espacial de 30 metros), fornecida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e uma imagem Landsat 8 (sensor TM, órbita: 2020, ponto: 76, datada de 15 de junho de 2017, com resolução espacial de 30 metros), obtida do Serviço Geológico dos Estados Unidos. Foi realizada a composição de falsa cor das imagens (5R4G3B ou 6R5G4B) para auxiliar na interpretação visual e na classificação das tipologias de usos da terra, que ocorreu com base na textura e no tom das imagens, seguindo a classificação multinível do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013).

Para a caracterização ambiental, os dados primários referentes à declividade e hipsometria foram obtidos das cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de Boituva (SF-23-Y-C-I-4), Itu (SF-23-Y-C-II-3), Salto de Pirapora (23-F-Y-C-IV-2) e Sorocaba (SF-23-Y-C-V-1), na escala de 1:50.000.

Para descrever a hemerobia das unidades da paisagem do município de Sorocaba (SP), foi empregada uma classificação baseada em seis categorias (Quadro 1), frequentemente utilizadas na literatura. Cada tipologia de uso e cobertura da terra identificada foi classificada em um dos graus de hemerobia, considerando sua capacidade de regulação, interferência antropogênica, artificialização e dependência tecnológica.

Destaca-se que todos os dados foram inseridos ou elaborados no software ArcGIS 10.2, georreferenciados na Zona 23 Sul, utilizando o sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum SIRGAS2000.

Quadro 1- Graus de hemerobia e sua respectiva descrição

GRAUS	DESCRIÇÃO
Ahemerobiótico	Paisagem natural com grande potencial de autorregulação e com baixíssima ou nenhuma interferência antropogênica e dependência tecnológica.
Oligohemerobiótico	Paisagem natural similar à descrição anterior, porém, com maior grau de interferência antropogênica.
Mesohemerobiótico	Paisagens seminaturais que sofrem interferência antropogênica moderada, caracterizadas por uma artificialização parcial, apresentam baixa dependência tecnológica e uma capacidade limitada de autorregulação.
Euhemerobiótico	Paisagens artificiais marcadas pelo predomínio de atividades ligadas ao agronegócio, com forte dependência do manejo humano e necessidade tecnológica, além de uma moderada a forte interferência antropogênica e baixa capacidade de autorregulação.
Polihermerobiótico	Paisagens artificiais que compreendem áreas periurbanas, áreas de transição entre ambientes agrícolas e urbanos, e sítios de mineração, caracterizadas pela forte dependência do manejo humano, alta interferência antropogênica e dependência energética.
Metahemerobiótico	Paisagem artificial totalmente criada e dependente do manejo humano, que sofre interferência antropogênica excessiva. Uma característica marcante é a completa destruição das biocenoses e alta dependência tecnológica.

Fonte: Adaptado de Blume & Sukopp (1976), Haber (1990) e Walz & Stein (2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

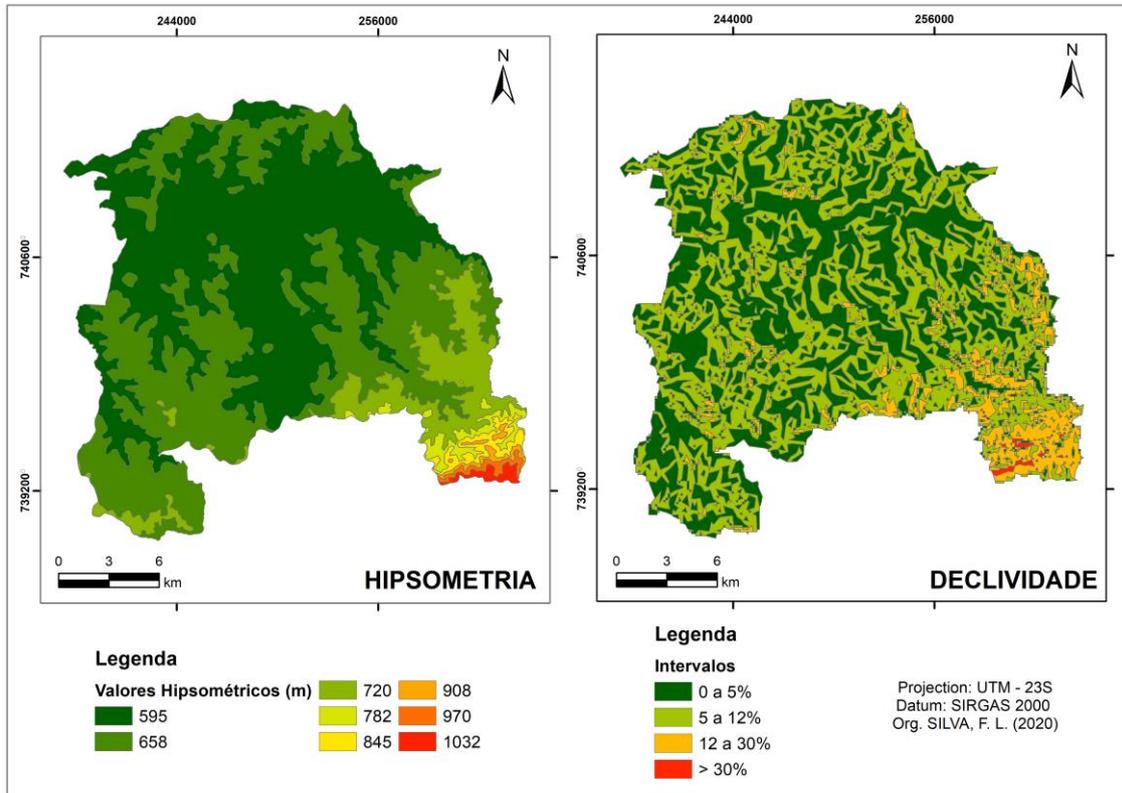
O município de Sorocaba foi dividido em oito classes de valores hipsométricos (Figura

2), todas agrupadas em 62 metros. O menor valor observado situa-se na porção central do município, correspondendo a uma altitude de 595 metros. Observou-se que o maior valor registrado foi de 1032 metros, localizado na região sudoeste do município, onde também são encontrados os maiores valores de hipsometria. Ressalta-se que as áreas úmidas do rio Sorocaba estão localizadas nas regiões de menor hipsometria (595 metros), por onde o rio Sorocaba atravessa o município.

Tratando-se da declividade (Figura 2), observou-se que o território é pouco declivoso. Baixos valores de declividade (0 a 6%) geralmente indicam um relevo plano (ARANTES, 2022), favorecendo atividades como urbanização e agronegócio. Cerca de 43,5% do território foi classificado como áreas muito planas (declividade < 5%), 47,92% como suave a moderadamente ondulado (5 a 12%), 8,27% como ondulado a fortemente ondulado (12 a 30%), e apenas 0,31% da área foi considerada fortemente ondulada (FLORENZANO, 2008). Biasi (1992) destaca que o limite máximo para urbanização está na faixa de 12 a 30%; áreas com valores superiores devem ser exploradas com a manutenção da cobertura vegetal.

Ao avaliarem a declividade do município de Sarandi (PR), Rigoldi, Paula Sousa e Caraminan (2020) constataram que a mecanização na região enfrenta dificuldades para acessar áreas mais declivosas, levando à modificação do uso da terra e à introdução de atividades como a silvicultura. Trevisan e Moschini (2015), ao analisarem a declividade do município de Americana (SP), observaram que este fator é um dos principais condicionantes para o desenvolvimento de atividades relacionadas ao agronegócio e habitação. Os autores também relacionaram as características favoráveis do relevo com o contexto histórico de ocupação da área. Em outra análise realizada no interior de São Paulo, Silva et al. (2017) também observaram que baixas variações na hipsometria e na declividade favorecem o desenvolvimento das atividades antropogênicas, uma situação verificada na bacia hidrográfica do rio Monjolinho (SP). Portanto, é possível que as atividades econômicas desenvolvidas no município de Sorocaba (SP) sejam beneficiadas pelos aspectos físicos do território, promovendo a instalação de indústrias, o desenvolvimento de culturas agrícolas e a pecuária.

Figura 2 – Declividade e Hipsometria do município de Sorocaba

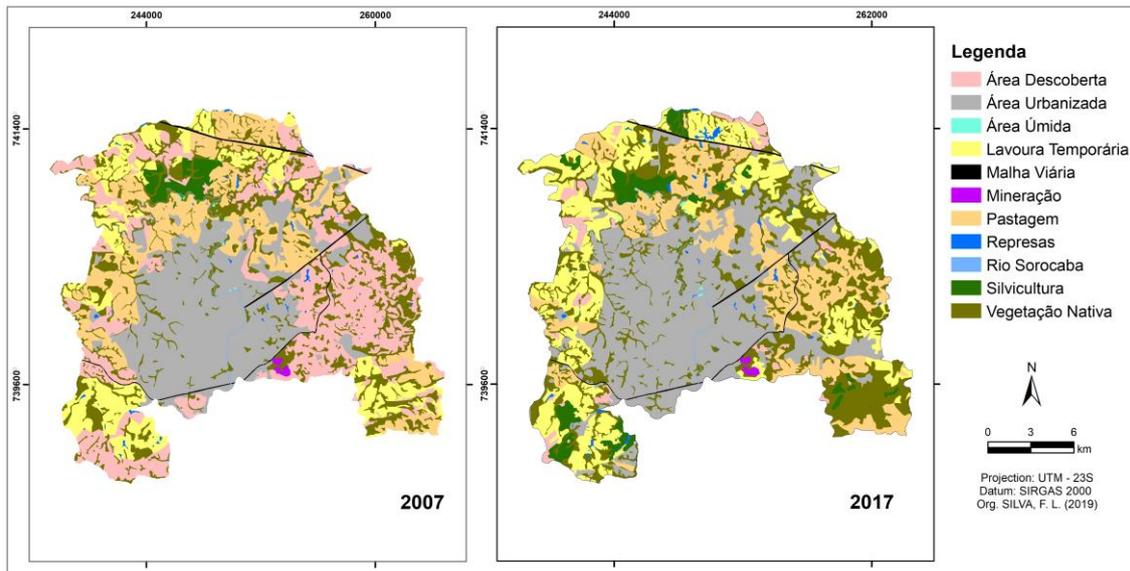


Fonte: Os autores.

Cabe salientar que o Plano Diretor Ambiental de Sorocaba, atualmente em fase de revisão, regula os usos e cobertura da terra, especialmente em relação à qualidade da urbanização, visando disciplinar esse processo (SOROCABA, 2014). O referido instrumento normativo também abrange unidades de conservação e áreas ambientalmente protegidas, dada a abundância de nascentes na região devido às baixas cotas hipsométricas e declividade. Além disso, como parte da RMS e sujeito a normativas específicas (SÃO PAULO, 2014; BRASIL, 2015), o município deve buscar o desenvolvimento sustentável, promover o desenvolvimento urbano integrado, utilizar o território de forma racional e proteger o meio ambiente. Todavia, o planejamento do ambiente físico em Sorocaba (SP) é incipiente e as ações antropogênicas têm contribuído para o comprometimento dos ecossistemas naturais (SILVA et al., 2020).

Durante o período de 2007 a 2017, foram identificadas 11 tipologias de usos e cobertura da terra (Figura 3, Tabela 1). Ao longo desses dez anos, houve um aumento expressivo das áreas urbanizadas e uma leve redução nas áreas destinadas ao agronegócio, além de uma diminuição das áreas descobertas, geralmente utilizadas para práticas agrícolas. As classes predominantes, em termos de área, foram 'Área Antropogênica não Agrícola' e 'Área Antropogênica Agrícola', que juntas ocupam mais de 70% do território, evidenciando uma paisagem altamente antropizada.

Figura 3 – Padrões de usos e cobertura da terra do município de Sorocaba



Fonte: Os autores.

Em 2007, cerca de um quarto do território era ocupado por área urbanizada, enquanto uma parcela representativa do território era composta por áreas descobertas, porções que podem estar relacionadas com o desenvolvimento do agronegócio (Tabela 1). A lavoura temporária (e.g., cana-de-açúcar) ocupou menos de um sexto da área total, ao passo que as regiões de pastagem totalizaram quase 17% do território. Verificou-se que menos de 19% do município é coberto por vegetação nativa, porém, a paisagem apresenta-se fragmentada, principalmente nas regiões urbanizadas e agrícolas. Uma grande parcela da vegetação remanescente está associada aos corpos hídricos (como Áreas de Preservação Permanente), Reservas Legais ou áreas especialmente protegidas pelo poder público municipal, como Unidades de Conservação Municipais e Parques Urbanos.

Tabela 1 - Padrões de usos e cobertura da terra para o município de Sorocaba

Classes	Tipologias	2007		2017		Variação (%)
		Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	
Área Antropogênica não Agrícola	Área Urbanizada	11.493,71	25,50	15.062,21	33,42	31,05
	Malha Viária	382,00	0,85	382,00	0,85	0
Área Antropogênica Agrícola	Mineração	81,13	0,18	86,16	0,19	6,20
	Área Descoberta	10.805,62	23,97	1.164,94	2,58	-89,22
	Lavoura Temporária	5.225,68	11,59	8.394,99	18,63	60,65
	Pastagem	7.392,75	16,40	7.169,19	15,91	-3,02
Área Natural	Silvicultura	813,07	1,80	1.723,92	3,82	112,03
	Vegetação Nativa	8.513,34	18,89	10.592,70	23,50	24,02
	Área Úmida	32,07	0,07	39,95	0,09	24,57
Água	Corpo d'água continental	145,48	0,32	145,41	0,32	-0,05
	Represas	186,85	0,41	310,25	0,69	66,04
TOTAL		45071,71	100	45071,71	100	-

Fonte: Os autores.

Durante o período de 2007 a 2017, verificou-se um incremento expressivo da área

urbanizada no município de Sorocaba. Além disso, observou-se uma redução da 'Área Antropogênica Agrícola', especialmente a tipologia 'área descoberta'. Por outro lado, houve aumentos nas áreas de lavoura temporária, pastagem e silvicultura, indicando mudanças nos padrões de uso da terra ao longo desses dez anos. Durante o período avaliado (2007 – 2017), não houve redução das áreas úmidas e das represas no município de Sorocaba (SP). Além disso, houve um pequeno aumento na área de vegetação nativa, especialmente nas áreas urbanizadas, possivelmente devido a uma maior conectividade entre os fragmentos de vegetação.

Durante o período de análise, houve variações positivas e negativas em relação aos usos e cobertura da terra, assim como a ausência de variação (Tabela 1). Observou-se uma grande variação negativa na área descoberta, o que pode estar relacionado com a expansão urbana e possivelmente com a colheita da cana-de-açúcar, onde áreas anteriormente descobertas foram convertidas para outros usos, como urbanização. Esse tipo de mudança reflete um processo de transformação na paisagem do município de Sorocaba (SP) ao longo desses anos. Parece que houve pequenas variações nas tipologias de mineração e pastagem, assim como na malha viária e no rio Sorocaba, que não demonstraram variação durante o período considerado na análise. Por outro lado, foram observadas grandes variações na área urbana, nas represas, na silvicultura e na vegetação nativa. Essas mudanças podem indicar diferentes dinâmicas de uso da terra e intervenções ao longo dos anos, refletindo tanto o crescimento urbano quanto a gestão ambiental em relação às áreas naturais e de infraestrutura.

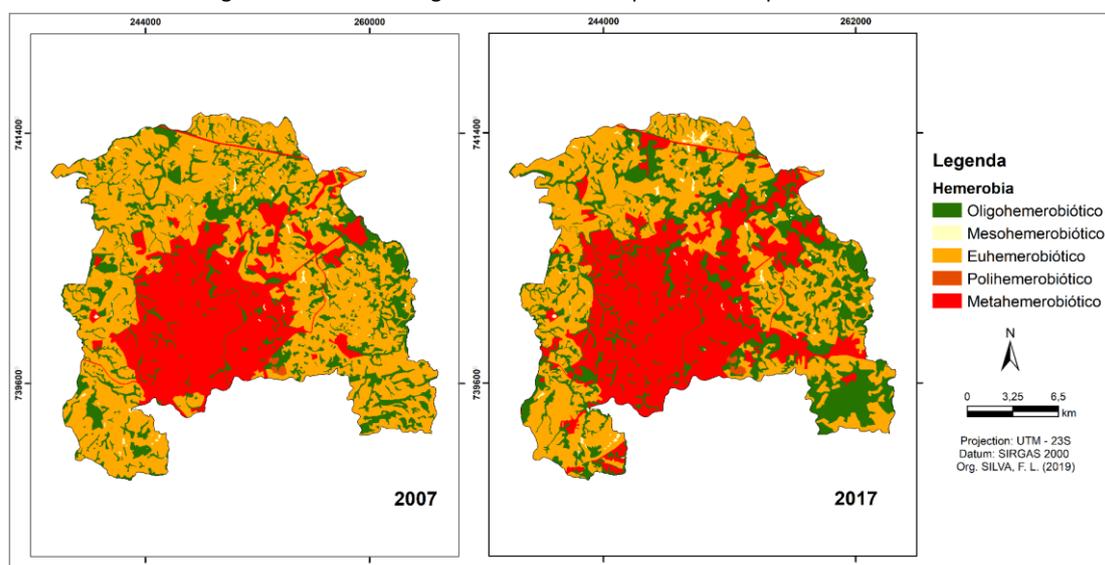
A transição florestal, conforme discutido por Farinaci e Batistela (2012), refere-se a um fenômeno onde as taxas de aumento da cobertura vegetal são maiores do que as perdas resultantes do desmatamento em uma dada área. Este conceito indica uma mudança positiva na dinâmica florestal, sugerindo uma possível recuperação ou expansão das áreas cobertas por vegetação, mesmo em contextos de intensa urbanização e desenvolvimento econômico. Esse achado corrobora com o presente estudo, uma vez que se observou um incremento da vegetação nativa no município de Sorocaba (SP), situação decorrente dos esforços da gestão pública em recuperar suas áreas verdes e a formulação de políticas públicas ambientais (SMITH et al., 2018).

Silva (2010) constatou uma intensa dinâmica de mudanças no uso e cobertura da terra no município de Sorocaba nos períodos de 1988 - 1995 e 1995 - 2003, destacando o predomínio de áreas urbanizadas e pastagem. Essas mudanças históricas contextualizam a tendência observada de crescente urbanização e transformação do uso da terra em Sorocaba (SP) ao longo do tempo. Bortoleto et al. (2016) e Silva et al. (2020) também realizaram uma análise dos usos e cobertura da terra no município de Sorocaba (SP). Os autores constataram o predomínio das áreas destinadas ao desenvolvimento das práticas agrícolas e de grandes áreas urbanizadas, além de associarem a vegetação remanescente aos ambientes aquáticos e às propriedades rurais.

Os graus de hemerobia encontrados para o município de Sorocaba (SP) estão representados na Fig. 4. Como pode ser observado, foram identificados cinco graus de hemerobia. Grande parcela da paisagem é composta por unidades caracterizadas por alta interferência antropogênica, dependência do manejo humano, baixa capacidade de autorregulação e alta dependência tecnológica.

O grau oligohemerobiótico é representado pelos fragmentos de vegetação nativa remanescentes no município. O grau mesohemerobiótico refere-se aos ambientes aquáticos existentes, que são marcados por sofrerem impactos decorrentes das atividades humanas e apresentam um baixo grau de modificação. As áreas destinadas à agricultura e pecuária foram enquadradas no grau euhemerobiótico. As unidades enquadradas como polihemerobióticas correspondem aos sítios de mineração. Por fim, o grau metahemerobiótico compreende áreas com altos níveis de impermeabilização, alta dependência tecnológica e alta interferência humana, ou seja, áreas urbanizadas e a malha viária.

Figura 4 – Padrões dos graus de hemerobia para o município de Sorocaba



Fonte: Os autores.

Durante o período considerado na análise (Tabela 2), a hemerobia do município de Sorocaba foi representada principalmente pelos graus euhemerobiótico e metahemerobiótico, que juntos somavam mais de 80% do território em 2007. As unidades da paisagem enquadradas no grau oligohemerobiótico ocupavam menos de 20% da paisagem. Já os graus mesohemerobiótico e polihemerobiótico correspondiam a menos de 0,6% da paisagem.

Tabela 2 - Graus de Hemerobia para o município de Sorocaba

Graus	2007		2017		Variação (%)
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	
Oligohemerobiótico	8.690,90	19,28	10.778,06	23,91	24,02
Mesohemerobiótico	186,85	0,41	310,25	0,69	66,04
Euhemerobiótico	24.237,12	53,77	18.453,04	40,94	-23,86
Polihemerobiótico	81,13	0,18	86,16	0,19	6,20
Metahemerobiótico	11.875,71	26,35	15.444,21	34,27	30,05
Total	45071,71	100	45071,71	100	-

Fonte: Os autores.

Ao verificar os graus de hemerobia em 2017, os padrões encontrados são semelhantes aos de 2007 (Tabela 2). Novamente, constatou-se o predomínio dos graus euhemerobiótico e

metahemerobiótico. Todavia, o grau euhemerobiótico sofreu uma redução em sua área, passando a compreender menos de 76% do território. As unidades oligohemerobióticas passaram a ocupar quase 24% da paisagem. Um aumento também foi verificado nos graus polihemerobiótico e mesohemerobiótico (cerca de 1% da área total).

Variações positivas foram constatadas para todos os graus de hemerobia, exceto nas unidades polihemerobióticas, que estão diretamente associadas à agricultura. Apesar do aumento no grau oligohemerobiótico, também ocorreu um aumento expressivo nas unidades que apresentam uma completa perda da biocenose e uma grande interferência antropogênica (i.e., metahemerobiótico).

O município de Sorocaba (SP) tem passado por um processo de urbanização intenso entre 1985 e 2020, com áreas rurais sendo convertidas em áreas urbanas (RIBEIRO et al., 2024). Tal processo impacta negativamente os sistemas naturais e afeta sua estabilidade, dado o alto grau de modificação da paisagem, especialmente em regiões densamente povoadas. Assim, torna-se necessário recuperar as áreas naturais do município e minimizar a poluição difusa e a carga poluidora direcionada aos ambientes aquáticos. Destaca-se a importância do planejamento municipal e da criação de mecanismos para evitar a conversão dos ecossistemas das áreas úmidas do município. Ao compreender as implicações do processo de urbanização na resiliência e funcionamento dos ecossistemas, é possível implementar estratégias que promovam o desenvolvimento sustentável nos centros urbanos da América Latina (ALBERTI, 2024; RIBEIRO et al., 2024), dada a similaridade de desafios enfrentados.

O predomínio de graus de hemerobia que indicam interferência antropogênica e grande dependência tecnológica pode ser considerado um reflexo da antropização da paisagem e da construção de estruturas artificiais (FUSHITA et al., 2017). Outrossim, ressalta-se que a hemerobia é um indicador que auxilia na avaliação da naturalidade e na capacidade de regulação dos elementos que integram a paisagem. Isso favorece o entendimento dos processos associados às transformações da paisagem e o monitoramento de sua dinâmica, sendo útil para o planejamento e tomada de decisão (BÁRBARA et al., 2014; WALZ; STEIN, 2014; NUCCI et al., 2016).

Deste modo, evidencia-se o forte grau de alteração das unidades da paisagem estudada. O cenário constatado possui como suas principais implicações o comprometimento da capacidade de autorregulação das unidades, a ocorrência de uma forte interferência antropogênica, uma grande dependência do manejo humano e a necessidade do emprego de tecnologias. As unidades oligohemerobióticas e mesohemerobióticas (i.e., estruturas verdes e azuis) são basicamente as unidades da paisagem responsáveis pela provisão de serviços ecossistêmicos, como a purificação do ar e o controle do aporte de sedimentos para os corpos hídricos (ARTMANN et al., 2017). Apesar da existência de um plano diretor que prevê o uso da terra mediante a preservação ambiental, há deficiências na conservação dos elementos naturais e na manutenção da biodiversidade (SILVA et al., 2019). Os resultados indicam que a paisagem é marcada por graus de hemerobia que refletem uma relevante interferência antropogênica e uma baixa capacidade de regulação natural. Embora tenha ocorrido um aumento nas áreas oligohemerobióticas, observa-se ainda o predomínio de áreas altamente antropizadas. Isso sugere que o processo de urbanização e as práticas do agronegócio não atendem plenamente

ao conteúdo disposto no plano diretor, evidenciando a necessidade de adoção de medidas mais restritivas para a preservação e recuperação ambiental.

Graus de hemerobia que refletem uma alta interferência humana e grande dependência tecnológica também foram constatados por Pereira, Silva e Veiga (2011) em um estudo sobre as unidades da paisagem do bairro Centro Cívico em Curitiba (PR). Na ocasião, cinco graus de hemerobia foram identificados, e a alta artificialidade das unidades foi relacionada com o desenvolvimento de atividades comerciais e adensamentos urbanos. Ao avaliarem a hemerobia do bairro Pici em Fortaleza (CE), Belem e Nucci (2011) também constataram que mais de 50% da paisagem apresentava baixa capacidade de autorregulação e uma grande dependência tecnológica. Ferreira et al. (2018), ao avaliarem uma paisagem no interior paulista, encontraram o predomínio de graus que também indicam uma alta hemerobia (i.e., euhemerobiótico e metahemerobiótico). Os autores associaram essa situação ao predomínio das áreas urbanas e agrícolas, grandes responsáveis pela inserção de poluentes e contaminantes nas águas do rio Monjolinho.

Paisagens com alto grau de hemerobia dependem de fontes de energia que geram efeitos deletérios aos ecossistemas, resultando em poluição, contaminação e degradação ambiental (NUCCI; BELEM; KRÖKER, 2016). As ações humanas promovem mudanças nos sistemas naturais, sendo assim, a recuperação da paisagem pode ser facilitada por meio da recuperação gradual das unidades da paisagem, através de ações que induzam mudanças nos graus de hemerobia (KIEDRZYŃSKI et al., 2014). É importante destacar que o aumento de áreas naturais em regiões antropizadas é essencial para a continuidade da provisão dos serviços ecossistêmicos e a manutenção da biodiversidade (SILVA et al., 2022). Em municípios metropolitanos, essa medida é indispensável para assegurar uma qualidade de vida adequada à população e para a preservação dos recursos naturais.

5 CONCLUSÃO

A análise empregada, considerando os padrões de usos da terra, atributos físicos e os graus de hemerobia dos elementos da paisagem, pode trazer bases para o estabelecimento de medidas de intervenção que são úteis para o planejamento e gerenciamento em unidades administrativas como municípios metropolitanos. Sorocaba (SP) possui o seu território marcado pelo predomínio de tipologias antropogênicas de uso e cobertura da terra, todavia, é possível observar uma redução da área destinada ao desenvolvimento de atividades ligadas ao agronegócio e um aumento das áreas urbanizadas e de vegetação nativa entre 2007 e 2017. A antropização da paisagem é favorecida pela baixa variação de valores nas classes hipsométricas e pelo fato de o território ser predominantemente plano. Se tratando da hemerobia, os graus euhemerobiótico e metahemerobiótico são os predominantes, um reflexo de grande controle e intervenção humana da paisagem e um possível comprometimento da autorregulação dos elementos e perda de naturalidade, situação que afeta diretamente a provisão de serviços ecossistêmicos. O território de Sorocaba (SP) é caracterizado pelo predomínio de tipologias antropogênicas de uso e cobertura da terra. Contudo, entre 2007 e 2017, observou-se uma redução da área destinada ao agronegócio e um aumento das áreas urbanizadas e de vegetação

nativa. Os resultados obtidos podem fornecer bases para o estabelecimento de diretrizes que auxiliem na manutenção dos elementos naturais e no desenvolvimento econômico, considerando as restrições impostas pelos ecossistemas naturais e a necessidade de salvaguardar os benefícios proporcionados para a população em regiões metropolitanas. É essencial potencializar a conectividade entre os fragmentos de vegetação remanescentes e conter o avanço das áreas urbanas, bem como outras atividades impactantes em áreas ecologicamente sensíveis ou frágeis. Os projetos de expansão urbana, como os planos diretores e planos de desenvolvimento regional, devem considerar as características locais e adotar medidas que minimizem os impactos ambientais. Recomenda-se: o controle da expansão urbana ao redor de ecossistemas sensíveis; a implementação de corredores ecológicos e integração de áreas verdes; recuperação das áreas degradadas; incentivos ao agronegócio mediante sustentabilidade ambiental e monitoramento/fiscalização.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro fornecido pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico - CNPq (Processo: 830728/1999-6) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- ALBERTI, M. Cities of the Anthropocene: urban sustainability in an eco-evolutionary perspective. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 379, n. 1893, p. 20220264, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0264>. Acesso em: 20 de jul. 2024.
- ARANTES, A. E. Suscetibilidade à Erosão Laminar e Linear da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e a sua Relação com o Uso e Cobertura da Terra em 2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 06, p. 3032-3046, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p3032-3046>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- ARTMANN, M. et al. The role of urban green spaces in care facilities for elderly people across European cities. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 27, p. 203-213, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.08.007>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- BARBARA, Â. D. L. S.; VALASKI, S.; NUCCI, J. C. Hemerobia e planejamento da paisagem no bairro Mossunguê, Curitiba-PR. **Revista Geografar**, v. 9, n. 1, p. 159-179, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geografar/article/viewFile/36540/22791>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- BELEM, A. L. G.; NUCCI, J. C. Hemerobia das paisagens: conceito, classificação e aplicação no bairro Pici-Fortaleza/CE. **Raega**, v. 21, p. 204 - 233, 2011.
- BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 45-60, 1992.
- BLUME, H. P.; SUKOPP, H. Okologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. **Schriftenreihe fur Vegetationskunde**, v. 10, p. 75-89, 1976.
- BOONE, C. G. et al. A comparative gradient approach as a tool for understanding and managing urban ecosystems. **Urban Ecosystems**, v. 15, p. 795-807, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0240-9>. Acesso em: 20 jul. 2024.



BOTEQUILHA-LEITÃO, A.; AHERN, J. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 59, n. 2, p. 65-93, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00005-1). Acesso em: 20 jul. 2024.

BORTOLETO, L. A. et al. Suitability index for restoration in landscapes: An alternative proposal for restoration projects. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 724-735, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.002>. Acesso em: 20 jul. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015**. Institui o Estatuto da Metrôpole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/13089.htm. Acesso em: 10 jun. 2024.

BURKHARD, B. et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 17-29, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CLIMATE-DATA. **Clima Sorocaba**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sorocaba-756/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2022**. CETESB, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2023/09/Relatorio-de-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2022.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2024.

CORLETT, R. T. The Anthropocene concept in ecology and conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, n. 1, p. 36-41, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.007>. Acesso em: 20 jul. 2024.

ERICKSEN, P. J.; INGRAM, J. S.; LIVERMAN, D. M. Food security and global environmental change: emerging challenges. **Environmental Science & Policy**, v. 12, n. 4, p. 373-377, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.04.007>. Acesso em: 20 jul. 2024.

FARINACI, J. S.; BATISTELLA, M. Variação na cobertura vegetal nativa em São Paulo: um panorama do conhecimento atual. **Revista Árvore**, v. 36, p. 695-705, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000400011>. Acesso em: 20 jul. 2024.

FERREIRA, C. S. et al. Bacia do rio Monjolinho: qualidade da água, sedimento e Índice de Hemerobia. **AMBIÊNCIA**, v. 14, n. 3, p. 522-538, 2018.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 11 – 35, 2008.

FUSHITA, A. T. et al. Historical land use/cover changes and the hemeroby levels of a bio-cultural landscape: past, present and future. **Journal of Geographic Information System**, v. 9, n. 05, p. 576, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.95036>. Acesso em: 20 jul. 2024.

HABER, W. Using landscape ecology in planning and management. In: **Changing landscapes: an ecological perspective**. New York, NY: Springer New York, 1990. p. 217-232.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sorocaba/panorama>. Acesso em: 10 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra 2013**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 03 de agosto de 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Atlas do desenvolvimento humano nas regiões metropolitanas brasileiras**. Brasília: IPEA: PNUD: FJP, 54p, 2017.

JACK, B. K.; KOUSKY, C.; SIMS, K. R. Designing payments for ecosystem services: Lessons from previous experience with incentive-based mechanisms. **Proceedings of the national Academy of Sciences**, v. 105, n. 28, p. 9465-9470, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0705503104>. Acesso em: 20 jul 2024.



KIEDRZYŃSKI, M. et al. Historical land use, actual vegetation, and the hemeroby levels in ecological evaluation of an urban river valley in perspective of its rehabilitation plan. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 23, n. 1, 2014.

KONG, L.; LIU, Z.; WU, J. A systematic review of big data-based urban sustainability research: State-of-the-science and future directions. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 123142, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123142>. Acesso em: 20 jul. 2024.

LARONDELLE, N.; HAASE, D. Urban ecosystem services assessment along a rural–urban gradient: A cross-analysis of European cities. **Ecological Indicators**, v. 29, p. 179-190, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.022>. Acesso em: 20 jul. 2024.

NUCCI, J. C.; BELEM, A. L. G.; KRÖKER, R. Evolução da paisagem do bairro Santa Felicidade (Curitiba-PR), com base no conceito de hemerobia. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 58-71, 2016.

OLIVERA, L. C. M. et al. Impacts of urban sprawl in the Administrative Region of Ribeirão Preto (Brazil) and measures to restore improved landscapes. **Land Use Policy**, v. 124, p. 106439, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106439>. Acesso em: 20 jul. 2024.

OLIVEIRA-ANDREOLI, E. Z. et al. Importância do planejamento regional para a manutenção dos usos múltiplos da água em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 52, p. 16-27, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190479>. Acesso em: 20 jul. 2024.

PEREIRA, F. C.; SILVA, R. R. S.; VEIGA, A. C. P. Análise do nível de hemerobia no bairro Centro Cívico em Curitiba-Paraná. **Revista Percurso-NEMO**, v. 3, n. 1, p. 125-145, 2011.

RIBEIRO, M. P. et al. Impacts of urban landscape pattern changes on land surface temperature in Southeast Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 33, p. 101142, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101142>. Acesso em: 20 jul. 2024.

RIGOLDI, K. C.; PAULA SOUSA, J.; CARAMINAN, L. M. Análise da vegetação de 2008 e 2018 do município de Sarandi: Aplicação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 6, p. 75 - 84, 2020.

SÃO PAULO. **Lei Complementar nº 1.241, de 08 de maio de 2014**. Cria a Região Metropolitana de Sorocaba e dá providências correlatas. São Paulo [2014]. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/2014/lei.complementar-1241-08.05.2014.html>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SÃO PAULO. **Inventário Florestal do Estado de São Paulo - 2020**. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2020/07/inventarioflorestal2020.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SILVA, A. L.; RIBEIRO, A. Í.; LONGO, R. M. Geoindicadores como instrumento de diagnóstico ambiental em remanescentes florestais nas bacias hidrográficas do município de Campinas/SP. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 6, 2020.

SILVA, A. M. Land cover change and environmental quality assessment using GIS techniques-a case study in Brazilian Southeastern region for the period 1988-2003. **Ambiente e Água**, v. 5, n. 2, p. 40-50, 2010.

SILVA, F. L. et al. Naturalidade da paisagem verificada por meio de indicadores ambientais: manancial do Rio Monjolinho, São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 970-980, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170063>. Acesso em: 20 jul. 2024.

SILVA, F. L. et al. Metas de aichi na avaliação de planos diretores municipais. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 15, n. 7, 2019.

SILVA, F. L. et al. An applied ecological approach for the assessment of anthropogenic disturbances in urban wetlands and the contributor river. **Ecological Complexity**, v. 43, p. 100852, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2020.100852>. Acesso em: 20 jul 2024.



SILVA, F. L. et al. An Approach to Verify Naturalness Loss and Its Relation with Ecosystem Services in Brazilian Cerrado: Implications to Management. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 10, n. 2, p. 55-74, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/gep.2022.102005>. Acesso em: 20 jul. 2024.

SMITH, W. S. et al. Urban biodiversity: how the city can do its management. **Biodiversity International Journal**, v. 2, n. 3, p. 272-277, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.15406/bij.2018.02.00068>. Acesso em: 20 jul. 2024.

SOROCABA. **Lei nº 11.022, de 16 de dezembro de 2014 - Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial do Município de Sorocaba e dá outras providências**. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a2/plano-diretor-sorocaba-sp>. Acesso em: 10 jun. 2024.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra em Paisagem no Interior do Estado de São Paulo: Subsídios para o planejamento. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 4, n. 3, p. 16-30, 2015.

URIARTE, M. et al. Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis. **Landscape Ecology**, v. 26, p. 1151-1164, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9642-y>. Acesso em: 20 jul. 2024.

WALZ, U.; STEIN, C. Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. **Journal for Nature Conservation**, v. 22, n. 3, p. 279-289, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.01.007>. Acesso em: 20 jul 2024.

WU, J. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 209-221, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>. Acesso em: 20 jul. 2024.