PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINASP
ESCOLA POLITECNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA

Mauricio Solera Rodrigues da Silva

CONTRIBUIÇÕES DA ARIE MATA DE SANTA GENEBRA PARA SERVIÇO ECOSSISTÊMICO DE REGULAÇÃO CLIMÁTICA

CAMPINAS
2025

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
ESCOLA POLITECNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA

Mauricio Solera Rodrigues da Silva

CONTRIBUIÇÕES DA ARIE MATA DE SANTA GENEBRA PARA SERVIÇO ECOSSISTÊMICO DE REGULAÇÃO CLIMATICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sistema de Infraestrutura Urbana da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como exigência para obtenção do Título de Mestre em Infraestrutura Urbana

Orientador: Prof. (a) Dr. (a) Regina Márcia Longo

CAMPINAS
2025

Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI
Gerador de fichas catalográficas da Universidade PUC-Campinas
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Mauricio Solera Rodrigues da

S586c CONTRIBUIÇÕES DA ARIE MATA DE SANTA GENEBRA PARA SERVIÇO ECOSSISTÊMICO DE REGULAÇÃO CLIMÁTICA / Mauricio Solera Rodrigues da Silva. - Campinas: PUC-Campinas, 2025.

87

Orientador: Regina Márcia Longo.

Dissertação (Mestrado em SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA) - , Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Serviços Ecossistêmicos. 2. Regulaçao Climática. 3. Áreas Verdes.

MAURICIO SOLERA RODRIGUES DA SILVA

CONTRIBUIÇÕES DA ARIE MATA DE SANTA GENEBRA PARA SERVIÇO ECOSSISTÊMICO DE REGULAÇÃO CLIMATICA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Regina Marcia Longo

Dissertação defendida e aprovada em 27 de janeiro de 2025 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

Profa. Dra. Regina Marcia Longo
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Prof. Dr. Rafael Souza de Faria
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Documento assinado digitalmente
gov.br MAURICIO LAMANO FERREIRA
Data: 30/01/2025 09:41:43 -0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Mauricio Lamano Ferreira
Departamento de ciências básicas e ambientais da USP

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoas de Nível superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

DEDICATÓRIA

Primeiramente a DEUS, por me dar força, iluminando meu caminho e sabedoria para superar cada desafio.

À minha família, por todo o apoio, amor incondicional e por serem meu porto seguro nessa etapa de minha jornada. Vocês fazem parte dessa minha conquista.

E aos meus pais, que descansam em um lugar de paz. Obrigado por todo o amor e ensinamentos que continuam guiando meu caminho.

Com leveza e gratidão, dedico esta dissertação a todos vocês.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem o apoio, a colaboração e a dedicação de tantas pessoas que, de diversas maneiras, contribuíram para a sua realização.

A minha orientadora Regina Márcia Longo, pela orientação atenta, conselhos valiosos e dedicação durante todo o processo. Sua experiência e apoio foram essenciais para que este trabalho ganhasse forma.

Aos professores do programa de Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana, pelas contribuições acadêmicas, pelos ensinamentos e pelas discussões enriquecedoras que ampliaram minha visão e aprimoraram este trabalho.

Aos colegas e amigos, que compartilharam comigo os desafios e as alegrias dessa trajetória. Obrigado pelos momentos de troca de sabedorias, palavras de incentivo e pelas boas risadas que tornaram este percurso mais leve. Um especial obrigado ao aluno de graduação de Ciências Biológicas da PUC-Campinas Gustavo Campane pela ajuda na instalação dos equipamentos.

A ARIE Mata de Santa Genebra, minha gratidão por abrir suas portas e permitir que este trabalho fosse realizado em um lugar tão rico em biodiversidade e importância ecológica. O acesso a este lugar único foi importante para o desenvolvimento deste trabalho.

A Pontifícia Universidade Católica de Campinas, “minha segunda casa”, meus agradecimentos por proporcionar uma boa base acadêmica e estrutural para que este trabalho fosse realizado, pelo apoio dos docentes, a infraestrutura oferecida e o incentivo contínuo foram fundamentais para a minha formação e para a realização desta dissertação.

A CAPES pelo bolsa de Mestrado (modalidade 2) que proporcionou este estudo, a FAPESP pelo apoio financeiro (Processo n.º 2022/05062-3), a Fundação José Pedro de Oliveira pela infraestrutura e apoio logístico.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente, estiveram presentes nessa jornada, meu sincero agradecimento. Este trabalho é consequência de um esforço coletivo.

Com gratidão

Mauricio Solera Rodrigues da Silva

RESUMO

Nas últimas décadas, os ecossistemas naturais foram alterados pelo homem em busca de alimentos, água potável, madeira e outros tipos de matéria prima, e intensa migração para as cidades, somado a um aumento dos problemas ambientais, econômicos e sociais. Neste contexto, as áreas verdes desempenham um papel fundamental para a sustentabilidade urbana e ajudam a mitigar os efeitos da urbanização como as ilhas de calor e a suscetibilidade a inundações. Além dos benefícios ambientais, essas áreas trazem melhorias tanto na economia quanto na sociedade como um todo. Esse trabalho almeja o estudo dos potenciais serviços ecossistêmicos que a ARIE (Área de Relevante Interesse Ecológico) Mata de Santa Genebra presta ao município de Campinas – SP, com destaque aos serviços de regulação climática. Para tanto, foram realizadas coletas sazonais, de temperatura do ar, umidade do ar, temperatura do solo e umidade do solo. Para esse trabalho, foram escolhidos três pontos de amostrais na região da Mata de Santa Genebra: um localizado no interior da Mata, outro em seu interior e um terceiro localizado na área urbanizada na área da PUC-Campinas Campus I, com o objetivo de analisar as alterações microclimáticas da região. Os sensores foram instalados simultaneamente por um período de 15 dias nas estações chuvosa e seca em cada ponto de estudo com leituras a cada 30 minutos. As maiores temperaturas foram registradas na área urbana em ambas as estações, 39,61 ºC na estação chuvosa e 40,73ºC na seca. O interior da mata ficou com a maior umidade relativa do ar: 97,54% na estação chuvosa, seguido pela borda da mata com 93,32% na estação seca. As análises indicam que o interior e a borda da mata possuem um papel importante na manutenção da umidade e na redução das amplitudes térmicas em função da evapotranspiração. A análise de PCA destacou que a umidade relativa e a temperatura do ar foram as variáveis mais influentes. Os resultados destacam a importância das áreas verdes na mitigação das alterações climáticas, especialmente em ambientes urbanos.

Palavras-Chave: ARIE Mata de Santa Genebra, Serviços Ecossistêmicos, Regulação Climática, Áreas Verdes, extremos climáticos

ABSTRACT

In recent decades, ecosystems have been altered by human activities in pursuit of food, drinking water, timber, and better living conditions. The intense migration to cities has led to an increase in environmental, economic, and social issues. Green areas play a fundamental role in urban sustainability and help mitigate the effects of urbanization, such as urban heat islands and flood susceptibility through rainwater retention. Besides environmental benefits, they bring improvements in economic and social aspects as well. This study aims to examine the potential ecosystem services that the ARIE (Region of Relevant Ecological Interest) Mata de Santa Genebra provides to the municipality of Campinas, SP, with an emphasis on climate regulation services. For this purpose, seasonal measurements of air temperature, air humidity, soil temperature, and soil moisture will be conducted. Three sampling points were chosen for this study: two within the Mata de Santa Genebra region (one in the forest interior and another at the forest edge), and one control point in the urbanized area at the PUC-Campinas Campus I, to analyze microclimatic changes in the region. Sensors were simultaneously installed for a period of 15 days during the rainy and dry seasons in each study area, with readings taken every 30 minutes. The highest temperatures were recorded in the urban area during both seasons, reaching 39.61 ºC in the rainy season and 40.73 ºC in the dry season. The forest interior showed the highest relative air humidity, reaching 97.54% in the rainy season, followed by the forest edge with 93.32% in the dry season. Analyses indicate that the forest interior and edge play a vital role in maintaining humidity and reducing thermal amplitude. PCA analysis highlighted that relative humidity and air temperature were the most influential variables. The results underscore the importance of green areas in mitigating climate change, especially in urban environments.

Keywords: ARIE Mata de Santa Genebra, Ecosystem Services, Climate Regulation, Green Areas, Climate Extremes.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos múltiplos serviços ecossistêmicos 24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aumento da temperatura de 1961 a 2018. 32
Tabela 2 - Estatística descritiva estação chuvosa 48
Tabela 3 - Estatística descritiva estação seca.....50
Tabela 4 - Para cada componente principal a variável mais significativa no período matutino.....59
Tabela 5 - Para cada componente principal a variável mais significativa no período noturno. 60
Tabela 6 - Teste MANOVA com índice de lambda Wilks para o período matutino. .62
Tabela 7 - Teste MANOVA com índice de lambda Wilks para o período noturno. .63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa com destaque ao município de Campinas e ARIE Mata de Santa Genebra.....34
Figura 2. Mata de Santa Genebra, em *VERMELHO LIMITE DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS*. .35
Figura 3 - Zona de Amortecimento da ARIE Mata de Santa Genebra.....37
Figura 4 - Ponto de coleta no interior da mata de Santa Genebra. 38
Figura 5 - Ponto na borda da mata de Santa Genebra.....38
Figura 6 - Ponto em área urbaniza PUC-Campinas - Campus I.....39
Figura 7 - Dados CEPAGRI/UNICAMP para os dias de coleta de dados na estação chuvosa 40
Figura 8 - Localização das áreas de leituras dos parâmetros ambientais (A) visão geral, (B) Interior da mata, (C) Borda da mata e (D) área urbana (PUC-campinas campus I) 41
Figura 9 -DataLogger de temperatura e umidade relativa do ar.....42
Figura 10 - DataLogger de temperatura e umidade do solo MX2307.....42
Figura 11 - Boxplot da distribuição da temperatura e da umidade relativa do ar diurna e noturna em diferentes áreas (interior, borda e urbana) nas estações chuvosa e seca 51
Figura 12 - Boxplot da distribuição da temperatura e da umidade do solo diurna e noturna em diferentes áreas (interior, borda e urbana) nas estações chuvosa e seca 55
Figura 13 - Análise de Componentes Principais (PCA) estações chuvosas e seca no período matutino.....59
Figura 14 - Análise de Componentes Principais (PCA) estações chuvosas e seca no período noturno. 60
Figura 15 - Análise multidimensional não métrica (NMDS) e teste de similaridade MANOVA no período matutino.....62
Figura 16 - Análise multidimensional não métrica (NMDS) e teste de similaridade MANOVA no período noturno. 63
Figura 17 - Análise de agrupamento (Bray-Curtis) período chuvoso (cores azuis) e período seco (cores marrons) no período matutino. 65
Figura 18 - Análise de agrupamento (Bray-Curtis) período chuvoso (cores azuis) e período seco (cores marrons) no período noturno. 66

FIGURA 19 - SÍNTESE DAS RELAÇÕES ENTRE O SERVIÇO DE REGULAÇÃO CLIMÁTICAS E PARÂMETROS DE QUALIDADE AMBIENTAL OBSERVADOS NA MATA DE SANTA GENEBRA .67

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO 11
2. HIPÓTESE BÁSICA E OBJETIVO 13
2.1. Hipótese Básica 13
2.2. Objetivo Geral 13
2.3. Objetivos específicos 13
3. REVISÃO BIBLIOGÁFICA 14
3.1. Sustentabilidade ambiental em cidades inteligentes 14
3.2. Benefícios da infraestrutura verde para as cidades 18
3.3. Sistemas de bosques urbanos e impactos nas mudanças climáticas e no controle das inundações 20
3.4. Serviços ecossistêmicos 21
3.4.1. Conceitos gerais 21
3.4.2. Serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano 26
3.4.3. O valor dos serviços ecossistêmicos 28
3.4.4. Pagamentos por serviços ambientais (PSA) 29
3.5. Exemplos de indicadores de qualidade ambiental nas cidades 31
3.5.1. Temperatura e umidade relativa do ar 31
3.5.2. Temperatura e umidade do solo 33
4. MATERIAL E MÉTODOS 34
4.1. Caracterização da área de estudo 34
4.2. Coleta e análises dos dados 37
4.2.1. Coleta de dados 37
4.2.2. Parâmetros ambientais analisados 43
4.2.3. Análise dos dados 44
4.3. Relação dos parâmetros de análise e serviços ecossistêmicos de regulação climática 46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 47
6. CONCLUSÃO 69
LITERATURA CITADA 71

1.INTRODUÇÃO

A Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA)[1] teve como objetivo de avaliar as consequências das mudanças nos ecossistemas sobre o bem-estar da humanidade e definir fundamentos para garantir sua conservação e seu uso sustentável. Para isso, a avaliação teve como foco os serviços ecossistêmicos que são os benefícios que a humanidade obtém dos ecossistemas. Entre eles estão os serviços reguladores que influenciam o clima, inundações, doenças, resíduos e qualidade da água. A humanidade, como parte integrante da Biosfera depende–sobretudo do fluxo dos serviços ecossistêmicos (MEA, 2005).

Sabe-se que os ecossistemas são processos mútuos entre o meio biótico que são formados pelos seres vivos, incluindo o homem e o meio abióticos formados pelo solo, água, ar, relevo, clima etc. São processos complexos, dinâmicos e ininterruptos que geram os serviços ecossistêmicos (Aquino *et al.*, 2020).

É importante refletir sobre a interferência do ser humano nesses sistemas. Essas interações os remodelam conforme as necessidades adaptativas dos seres humanos, sejam elas positivas ou negativas e são fundamentais na economia e na sobrevivência da humanidade (Custódio; García López, 2020).

Com o crescimento urbano focado principalmente no bem-estar da população e na preservação da natureza, pesquisas sobre ecossistemas urbanos e serviços ecossistêmicos tiveram um avanço a partir de 2005. Um grande problema para as pesquisas é a falta de uma metodologia que proponha avaliar e quantificar esses serviços para um crescimento sustentável (Tavares; Bergier; Guaraldo, 2021).

O crescimento dos centros urbanos vem acompanhado do crescimento de problemas econômicos, sociais e ambientais, causando uma queda na qualidade de vida, levando a população e os gestores a um ponto onde encontrar inovações e tecnologia e importante para um desenvolvimento sustentável (Kniess *et al.*, 2019).

Com o aumento das atividades antrópicas, houve um crescimento das emissões de gases do efeito estufa (GEE) e, como efeito, o aquecimento atmosférico ficou mais evidente, principalmente pela emissão do gás carbônicos (CO_2), que teve sua concentração aumentada nos últimos anos, causando grande preocupação. A capacidade que sistemas florestais possuem em sequestrar e armazenar carbono é

[1] MEA (Millennium Ecosystem Assessment)

grande e assim auxiliam na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (Marques, 2022; Pereira *et al.*, 2018).

Os espaços verdes urbanos melhoram a qualidade ambiental bem como a qualidade de vida da população, ao oferecer serviços ecossistêmicos como remoção da poluição do ar, sequestro de carbono, regulação climática e hídrica, além de fornecer habitats para a vida selvagem e preservar a biodiversidade (Arroyave Maya *et al.*, 2018).

Devido a sua grande importância no meio urbano e pelos serviços ecossistêmicos prestados para uma cidade saudável e sustentável, os fragmentos florestais desempenham um papel fundamental na gestão sustentável. Esses serviços não são exclusivos das árvores e de seu dossel, mas resultam da contribuição de todos os elementos da floresta (Batista *et al.*, 2020; Berglihn; Gómez-Baggethun, 2021).

O microclima urbano é afetado pela vegetação presente nas cidades, desempenhando um papel crucial na redução da temperatura, aumentando as áreas sombreadas e a umidade do ar. Essa vegetação não só ~~a~~ ajuda a diminuir os poluentes atmosféricos, como também promove a diversidade fundamental para um equilíbrio socioecológico. Para um desenvolvimento sustentável das cidades, é fundamental entender como a vegetação pode ser integrada as estratégias de urbanização para garantir um ambiente mais agradável e resiliente (Hu *et al.*, 2023; Martelli; Santos Jr, 2015).

Ao valorizar os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas áreas verdes, cria-se um recurso político benéfico para a conservação da natureza, promovendo a prática e a conscientização sustentável, garantindo assim que as futuras gerações possam aproveitar das riquezas que a natureza tem a oferecer (Gashaw *et al.*, 2018; Lara-Pulido; Guevara-Sanginés; Arias Martelo, 2018).

Portanto, o estudo proposto busca analisar o serviço ecossistêmico de regulação climática fornecido pela Mata de Santa Genebra, fornecendo subsídios para a formulação de políticas públicas municipais que apoiem sua preservação. Ao reconhecer e valorizar os benefícios da vegetação urbana, as autoridades municipais podem tomar medidas mais eficazes para proteger esses recursos naturais e promover um ambiente urbano mais saudável e sustentável para toda população.

2. HIPÓTESE BÁSICA E OBJETIVO

2.1. Hipótese Básica

O presente trabalho parte da hipótese básica de que os fragmentos florestais fornecem inúmeros serviços ecossistêmicos ao meio urbano, servindo como base para o estabelecimento de políticas públicas direcionadas a sua preservação e conservação.

2.2. Objetivo Geral

O presente trabalho apresenta como objetivo geral levantar e discutir as contribuições aos serviços ecossistêmicos de regulação climática da ARIE da Mata de Santa Genebra, Campinas/SP.

2.3. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral são propostos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Monitorar as alterações microclimáticas em área de mata, borda e urbana utilizando indicadores como: temperatura do ar e do solo, umidade do ar e solo.
- ✓ Analisar e discutir o serviço ecossistêmico de regulação climática fornecido pela ARIE Mata de Santa Genebra.
- ✓ Contribuir na discussão do estabelecimento de políticas públicas que visem a conservação e preservação de ecossistemas florestados em áreas urbanas;
- ✓ Fornecer subsídios ao apoio na tomada de decisão para a discussão da adaptação das cidades aos extremos climáticos.

3. REVISÃO BIBLIOGÁFICA

3.1. Sustentabilidade ambiental em cidades inteligentes

A ONU (Organização das Nações Unidas) afirma que nos últimos dois séculos houve uma alteração na distribuição da população mundial, e hoje 55% da população hoje vive nos grandes centros urbanos. À medida que o mundo continua a se urbanizar, critérios devem ser tomados para um crescimento urbano sustentável (United Nations, 2019). Conforme a humanidade avança nessa urbanização os hábitos das pessoas relacionados aos aspectos políticos, econômicos, ambientais, de consumo, comportamentais entre outros vão se modificando, sendo o século XXI um dos maiores colaboradores para essa evolução (Lehfeld; Siqueira, 2022).

As cidades são uma mescla entre os espaços urbanos edificados (casas, prédios) e os aparatos públicos (parques, praças, jardins), ambos refletem a modificação do ambiente natural pelo homem. O tamanho do futuro virá necessariamente de um planejamento urbano e das opções que serão tomadas no presente que dará base para cidades mais sustentáveis (Bodnar; Priess; Bianchi, 2019).

O conceito de desenvolvimento sustentável teve sua origem no relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento “Nosso Futuro Comum” conhecido também como Relatório de Brundtland e entende-se como o crescimento do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras, englobando dois conceitos: (1) conceito de necessidade principalmente aos mais pobres e que deve ser prioritário e (2) conceito de limitações que é a capacidade do ambiente de atender a presente e as futuras gerações (United Nations, 1987).

Em 1990 foi criado pelas Nações Unidas o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) no programa das nações unidas para o desenvolvimento (PNUD). A partir desse momento o desenvolvimento não seria mais medido somente pelos índices econômicos, mais incluindo indicadores como: alfabetização, expectativa de vida e controle sobre os recursos para uma vida mais digna (Nanda, 2016).

Na Declaração de Johannesburg de 2002 houve uma evolução sobre os critérios do desenvolvimento sustentável, por mais que se cite os problemas da globalização, onde é reconhecido que a pobreza tem que ser eliminada, alteração nos padrões de consumo e produção e uma melhor gestão dos usos dos recursos naturais, essa é uma ação coletiva rumo a proteção ambiental associada ao desenvolvimento econômico e social (Diniz, 2002).

A Resolução da ONU (United Nations, 2015) denominada “Transformar Nosso Mundo: Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável” foi aprovada por unanimidades em 2015 e entrou em vigor em janeiro de 2016 e foi elaborada a partir de 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável. Esses objetivos foram pensados a partir dos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM) entre os anos de 2000 e 2015, sendo uma agenda bem mais ampla que a ODM com uma abordagem no tripé do desenvolvimento sustentável (social, econômico e ambiental). Dentre os 17 ODS, pode-se destacar dois que serão importantes para o desenvolvimento desse trabalho: (A) Objetivo 13 - Ação Climática (medidas urgentes para combater as alterações climáticas e seus impactos) e (B) Objetivo 15 - Proteger a Vida Terrestre (proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade).

Atualmente, a humanidade enfrenta diversos desafios, entre os quais as mudanças climáticas representam um dos mais importantes, senão o mais crítico. É essencial compreender os impactos dessas mudanças nos ecossistemas, causam na economia, infraestrutura, biodiversidade e na saúde humana. O Brasil está entre os maiores emissores de gases do efeito estufa, ocupando a sétima posição, o que nos coloca como uns dos principais responsáveis pelas mudanças climáticas. Dessa forma, é fundamental elaborar planos socioeconômicos que possam de forma mais justa e sustentável mitigar os efeitos das mudanças climáticas (Artaxo, 2022).

A sensação térmica, especialmente nos centros urbanos, tem se elevado cada vez mais devido ao aumento da urbanização, fenômeno conhecido como ilha de calor. A presença de vegetação nas cidades é de grande importância, pois contribui para a redução da temperatura, tornando o ambiente mais agradável (Alves *et al.*, 2017). Assim, é fundamental compreender a interação entre a vegetação e a urbanização para promover o desenvolvimento sustentável (Hu *et al.*, 2023).

Para Dotto (2017) a vegetação nas cidades apresenta uma diversidade de funções, entre as quais se destacam a diminuição no consumo de energia por meio do controle térmico das edificações e o tratamento do esgoto orgânico. Além disso, a vegetação atua como indicador da qualidade ambiental e de vida nas cidades, contribuindo para a mitigação dos efeitos da urbanização.

A sustentabilidade das cidades abrange um conjunto de disciplinas e conhecimentos, uma vez que elas acolhem grande parte da população mundial,

oferecendo amplas oportunidades, mas também enfrentando desigualdades econômicas e sociais. Além disso, as cidades demandam de uma quantidade crescente de matéria-prima e são centros geradores de poluição ambiental. Somados a esses fatores, os efeitos das mudanças climáticas contribuem para a redução da qualidade de vida, colocam uma enorme pressão para que as cidades alcancem a sustentabilidade ambiental (Kniess *et al.*, 2019; Sotto *et al.*, 2019).

As políticas públicas vêm conquistando espaços, principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil, tornando-se uma ferramenta eficaz para o progresso territorial, com forte vínculo ao desenvolvimento sustentável. Essas políticas públicas territoriais representam instrumentos técnicos capazes de estimular o desenvolvimento econômico, promove a inclusão social e assegurar a proteção ambiental, que são os três pilares do desenvolvimento sustentável (Rocha; Guimarães; Loureiro, 2020).

O crescimento populacional, as mudanças climáticas, econômicas, demográficas e tecnológicas, resultam em aumento de recurso vitais, como água, energia e alimentos, além de modificações na infraestrutura, mobilidade e habitação. Diante dessa possibilidade os gestores devem repensar a gestão dos espaços urbanos, focando atender as necessidades humanos, enquanto garantem a preservação dos ecossistemas (Cortese *et al.*, 2019).

Cabe aos gestores das cidades buscar meios para promover o bem-estar social, econômico e ambiental, tornando-o mais adequado para as futuras gerações. É necessário identificar e implementar critérios que motivem o desenvolvimento urbano sustentável e tornem as cidades mais resilientes às mudanças climáticas. Contudo, esse trabalho não é fácil, pois cada vez mais, pessoas migram para os centros urbanos em busca de oportunidades de trabalho, o que gera problemas de infraestrutura, congestionamento, saneamento, uso exagerado dos recursos naturais, educação e serviços de saúde, sendo fundamental analisar o impacto desse aumento populacional. A tecnologia é uma grande ferramenta na conciliação entre a infraestrutura e natureza. No entanto, como toda tecnologia deve ser avaliada sob a perspectiva jurídica durante o planejamento das cidades (Ferreira, 2021; Freitas; Silva, 2020; Ximenes; Maglio; Franco, 2020).

A integração entre o crescimento social, econômico e ambiental é de grande importância para atingir o desenvolvimento sustentável. No entanto, a relação entre

esses três aspectos é complexa e pode prejudicar as metas estabelecidas para um desenvolvimento sustentável (Lago, 2006; Ni; Wang; Yu, 2022).

Diferentemente dos recursos naturais, que são finitos, o crescimento e desenvolvimento das cidades é tratado de forma contínua e desordenada, resultando em um aumento da degradação ambiental, essa degradação é causada pelo consumo excessivo, pela alta geração de resíduos sólidos, pelo desperdício e descarte irregular, entre outros fatores. Diante dessa situação, a questão ambiental tem conquistado um grande destaque nos debates nacionais e internacionais (Lehfeld; Siqueira, 2022).

As Cidades Inteligentes e Sustentáveis (CIS) utilizam as tecnologias de informação e comunicação juntamente com um desenvolvimento sustentável, surgindo como uma possibilidade para a gestão pública. Isso garante à população uma melhor qualidade de vida, através de princípios e indicadores de avaliação, as CIS se mostram como uma alternativa para a redução de inúmeras complicações como por exemplo, a poluição, o aquecimento, congestionamento e desperdício de energia (BACHENDORF, 2019; Kobayashi *et al.*, 2017).

Contudo, as cidades necessitam que sua gestão seja elaborada de uma forma integrada e equilibrada. Uma ferramenta que pode ser usada é o Desenvolvimento Urbano Baseado em Conhecimento (DUBC), que fornece meios em quatro bases de conhecimento (econômico, social, espacial e institucional), sem perder o foco na sustentabilidade (Michelam *et al.*, 2020). Hoje, para lidar com as dificuldades dos desenvolvimentos atuais ou futuros seja no âmbito econômico, social e ambiental, os gestores se utilizam de ferramentas como aplicativos de tecnologia urbana inteligente como instrumento para amenizar esses problemas (Yigitcanlar; Kamruzzaman, 2018).

Um dos grandes desafios de todas as cidades é fazer a conciliação entre o seu sistema urbano social, econômico, cultural e político com os componentes do ecossistema natural. As cidades além de serem o centro impulsionador da economia, devem fornecer o básico para uma melhor qualidade de vida com propósitos ambientais, culturais e sociais. Além disso elas têm a necessidade de administrar complexas questões ambientais como a qualidade do ar e da água, energia, resíduos e recursos ambientais (COMISSÂO EUROPEIA, 2021).

Atualmente, o uso insustentável de energia e emissões de gases veem causando inúmeros problemas ao meio ambiente, já que as cidades consomem 75% de toda energia produzida e emitem 80% de todo CO_2, assim amplificando a poluição do ar, água e solo, soma-se a todo esse problema ambiental os impactos sociais e

econômicos como o aumento de congestionamento, educação, saneamento, serviços de saúde e uso exagerado dos recursos naturais (Ferreira, 2021; Lazaroiu; Roscia, 2012).

Hoje em dia através da tecnologia, as cidades inteligentes conseguem reunir uma grande quantidade de dados, através de sensores, câmeras, áudios, monitoramento de temperatura, pressão, umidades, poluição, entre tantas possibilidades de monitoramento e dados, que se tronam um elemento importante para as tomadas de decisões dos planejadores (Costa; Hardagh, 2018).

Uma cidade pode ser definida como inteligente quando o elemento principal para os gestores é a tecnologia, visando com isso a melhoria dos serviços públicos, melhorando a qualidade de vida, além de um monitoramento em tempo real, diminuindo assim o tempo de resposta para eventuais emergências (SANTOS; CARDELES, 2021). Outro propósito dessas cidades e a sustentabilidade, levando a um uso eficiente de seus recursos e uma participação mais efetiva de seus cidadãos, levando ao uso de “cidades inteligentes sustentáveis” (Abreu; Marchiori, 2020).

3.2. Benefícios da infraestrutura verde para as cidades

> A infraestrutura verde e aquela que possui funções ecológicas e sociais, cuja área permeável ocupe, no mínimo, 70% de sua área total, possuindo vegetação em qualquer porte (herbácea, arbustiva e/ou arbórea), ocorrendo em áreas públicas ou privadas, rurais ou urbanas (Campinas, 2017) (p.21).

Está definição de área verde serve para nortear o Plano Diretor de Campinas e sendo as áreas verdes foram divididas em oito categorias no município: Bosque, Parque, Praça, Unidade de Conservação, Bem Natural Tombado, Vegetação Natural, Reserva Legal e Área de Preservação Permanente, sendo assim todas essas áreas protegidas pela legislação ambiental (Campinas, 2017).

A pandemia de Covid 19 causou profundas mudanças ao mundo e a vida urbana, surgindo, assim, novos pensamentos para um futuro comum. Um exemplo disso é como se pode utilizar os espaços públicos e as áreas verdes para melhorar qualidade de vida. A OMS (Organização Mundial da Saúde) enfatizou a importância que essas áreas têm para a valorização da vida urbana (Ximenes; Maglio; Franco, 2020).

A União Europeia em sua resolução do Parlamento Europeu (COMISSÂO EUROPEIA, 2021) define a infraestrutura verde como uma malha de zonas naturais e seminaturais, incluindo as características planejadas para prestar uma ampla cadeia de serviços ecossistêmicos, incluindo espaços verdes ou azuis (no caso de ecossistemas aquáticos) e outras qualidades físicas em zonas terrestres, costeiras, marinhas em meios rurais ou urbanos.

Uma possibilidade é a integração entre infraestrutura cinza e a infraestrutura verde, oferecendo inúmeras vantagens, como a redução da ilha de calor urbano, um melhor manejo das águas pluviais, melhoria para o transporte não motorizado, fornecendo aos pedestres e ciclista um frescor ao andar por ruas arborizadas, assim proporcionando uma aproximação com a natureza (Maruyama; Franco, 2017).

As áreas verdes vêm ganhando espaços em todo mundo, em razão de suas funções ecológicas como a mitigação das mudanças climáticas, melhoria do bem-estar humano, além de contribuir de forma positiva para os benefícios sociais, econômicos, assim tronando as áreas urbanas mais resilientes, sustentáveis, inclusiva e competitivas (Monteiro; Ferreira; Antunes, 2020).

Nas cidades o uso do solo resulta em grande pressão nas áreas não construídas. As estruturas verdes têm como finalidade fornecer meios essenciais para a sustentabilidade urbana. As conexões entre áreas verdes favorecem a renovação da paisagem urbana, além do valor ecológico, contribuindo para a valorização dos elementos essenciais, como água, ar e biodiversidade deixando assim, os espaços mais humanos (Olak *et al.*, 2020).

As alterações das funções ecológicas e ecossistêmicas que o uso e ocupação do solo vem sofrendo com a ampliação das áreas urbanas, a infraestrutura verde e azul e uma alternativa para diminuição da ação antrópica negativa, proporcionando assim uma qualidade de vida melhor, sendo também um caminho mais sustentável, econômico, flexível se comparado a soluções tradicionais (Guimarães *et al.*, 2018).

As áreas verdes das cidades são ambientalmente recursos importantes para a preservação da biodiversidade e cumprem também uma função técnica para ações de mitigação e como áreas adaptadas para a mudança climáticas, além de proporcionar serviços ambientais primordiais para a sustentabilidade e resiliência das comunidades. A preservação dessas áreas, juntamente com o plantio de árvores, ajuda na absorção do CO_2, controle de enchentes, além de atuarem como corredores

verdes para o deslocamento e habitat da fauna e flora e espaços de lazer para a população (Masquete; Chande, 2022; Ximenes; Maglio; Franco, 2020).

As cidades verdes nunca foram tão relevantes para encarar os desafios que o planeta enfrenta, desde as consequências das mudanças climáticas, problemas ambientais entre outros. A infraestrutura verde tem uma imensa capacidade de fornecer soluções ecológicas, econômicas e sociais, como a retenção e circulação de água, regulagem da temperatura, melhoria da biodiversidade com corredores verdes, tornando as áreas residenciais mais agradáveis, facilitando as atividades físicas. Dessa forma, melhora-se a qualidade de vida da população, mudando as características de uma infraestrutura cinza para uma infraestrutura verde, permitindo as cidades adaptações paras as alterações climáticas (COMISSÂO EUROPEIA, 2021).

A ampliação da infraestrutura verde ainda e um desafio perante os métodos tradicionais de planejamento urbano, embora pesquisas sobre a importância dessa infraestrutura mostrem que ela contribui para uma melhor qualidade de vida melhor nas cidades, através de um equilíbrio entre as pessoas e o meio ambiente. Esse planejamento ambiental é crucial para os administradores, por isso a infraestrutura verde é de grande importância, pois envolve conceitos como conectividade, multifuncionalidade, participação da população entre outros (Mattos, 2020).

Quando se analisam as interações entre as pessoas e o meio ambiente, a compreensão dos serviços ecossistêmicos é uma ferramenta que auxilia no suporte dessa interação à medida que complementa um entendimento e senso comum sobre o tema, permitindo priorizar a gestão sustentável dos recursos naturais (Ferraz *et al.*, 2019; Grêt-Regamey *et al.*, 2017).

3.3. Sistemas de bosques urbanos e impactos nas mudanças climáticas e no controle das inundações

As mudanças climáticas afetam a todos, independentemente de onde moram, seja nas cidades ou no campo. Com os rumos globais de urbanização, onde cerca de 68% da população residirá nas cidades até 2050, acredita-se que a experiência da humanidade mais direta com áreas verdes ocorrerá nas cidades. As chamadas florestas urbanas, que incluem todas as árvores dentro dos limites de uma cidade, fornecendo assim alívio aos impactos das mudanças climáticas (Hallett *et al.*, 2024; Pouyat; Trammell, 2019).

As modificações do uso do solo ligadas a crescente urbanização e industrialização, alteram o microclima local, formando ilhas de calor, onde as cidades são mais quentes que a paisagem ao seu redor. Essa ocupação do solo de forma desordenada e em áreas de risco com corpos hídricos, várzeas e alta declividade, provocam o aumento de desastres naturais, como inundações, e deslizamentos, causando danos materiais e humano sendo uma das grandes adversidades da sociedade atual (ALMEIDA, 2019; Fialho; Santos, 2021).

Atualmente 4,2 bilhões de pessoas vivem nas cidades e o avanço da infraestrutura cinza, voltada por exemplo, para o uso de automóveis, favorece o crescimento de áreas impermeáveis (ruas e estacionamentos) e com o acréscimo de construções (casas, edifícios etc.) fortalecem os efeitos dos eventos climáticos como climas mais quentes (Esperon-Rodriguez *et al.*, 2022; Soares, 2022).

A urbanização provoca mudanças tanto em ambientes naturais quanto nos construídos, afetando o uso do solo e a topografia, aumentando os riscos de enchentes. Além disso, crescimento urbano provoca alterações climáticas afetando diretamente esses. Compreender a relaçao entre a urbanização e as enchentes é um desafio para as cidades (Seemuangngam; Lin, 2024).

Dentro do espaço urbano, encontra-se uma variedade de áreas verdes, que incluem árvores nas ruas, parques, áreas residenciais e espaços naturais. As mudanças climáticas impactam cada um desses ambientes de maneiras diferentes. Por isso, é primordial adotar métodos que fortaleçam essas áreas verdes e potencializem os serviços ecossistêmicos, minimizando, assim os impactos das mudanças climáticas na vida das pessoas (Hallett *et al.*, 2024).

3.4. Serviços ecossistêmicos

3.4.1. Conceitos gerais

A biodiversidade e as funções dos serviços ecossistêmicos sustentam diretamente a realização de vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), incluindo os relativos à água e ao saneamento, à ação climática, à vida abaixo da água e à vida na terra (ODS 6, 13, 14 e 15). A natureza também desempenha um papel importante e complexo papel na realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável relacionados à pobreza, fome, saúde e bem-estar e cidades sustentáveis (ODS 1, 2, 3 e 11) (IPBES, 2019).

Em nível mundial, torna-se cada vez mais evidentes os resultados negativos das alterações climáticas. Embora os governos de todo mundo estejam trabalhando para reduzir os impactos causado pelo homem, que contribuem para essas mudanças, é evidente que enfrentaremos consequências negativos nos próximos anos. Entre os mais afetados estarão as populações mais pobres, que suportarão o peso dessas transformações (Bollettino *et al.*, 2020).

A crescente taxa de urbanização, associada à emergência climática, tem gerado um conflito na prática do urbanismo. As cidades, responsável por cerca de 65% das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE), enfrentam simultaneamente o desafio do crescimento populacional e necessário abordagens inovadoras no design urbano. Essas abordagens devem priorizar os benefícios da sustentabilidade com ênfase na sua dimensão ambiental (Allam *et al.*, 2022).

As mudanças climáticas são estimuladas pelas atividades humanas, seja por emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) ou pelas mudanças pelo uso e ocupação do solo. Indicando ser um erro pensar que políticas eficazes sobre o clima podem ser aplicas isoladamente, sem um conhecimento profundo das ligações entre o meio ambiente, sociedade e economia (United Nations, 2020).

Para o bem-estar humano, as pessoas dependem totalmente dos ecossistemas terrestres e dos serviços fornecidos, como alimentos, água, regulação climática, entre outros, e este bem-estar não depende apenas dos serviços ecossistêmicos, mas também da disponibilidade de capital social, da tecnologia e das instituições às quais a população tem acesso (MEA, 2005).

Os fatores socioeconômicos moldam a quantidade e a qualidade dos espaços verdes, a variação desse fator altera o desejo e as necessidades das pessoas, alteram assim a demanda por diferentes serviços ecossistêmicos. Fazer a interação entre os fatores socioeconômicos, espaços verdes e serviços ecossistêmicos e a chave para um planejamento e gestão desses serviços, garantindo assim uma melhoria na qualidade de vida da população (Wilkerson *et al.*, 2018)

A Lei Nº 14.119 de 2021 define Serviços Ecossistêmicos como os benefícios que a sociedade obtém e que são gerados pelos ecossistemas tais como de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais (BRASIL, 2021a).

Os serviços ecossistêmicos são as qualidades e as funções ou processos ecológicos que de forma direta ou indireta colaboram para o bem estra humano, os ecossistemas que contribuem com os serviços são chamados de capital natural, para

que esses serviços sejam produzidos o capital tem que interagir com o capital econômico, capital humano e o capital social, entender, gerir e mensurar os serviços ecossistêmicos exige uma abordagem multidisciplinar (Costanza, 2020).

Nos últimos anos, os países membros da União Europeia concluíram muitos projetos relacionados ao mapeamento e avaliação dos serviços ecossistêmicos (MAES)[2], baseados na estratégia de biodiversidade de 2020 e 2030. Esses projetos reuniram um vasto conhecimento na área, sendo uma fonte importante de informações para processos de avaliações para tomadas e para a tomada de decisões em políticas públicas (Vári *et al.*, 2024).

Com o crescimento urbano e as mudanças climáticas ficando mais intensas, os gestores enfrentam um desafio de fornecer soluções inovadoras que avaliem ao mesmo tempo, os impactos ambientais e as mudanças climáticas, além de garantir a qualidade de vida da população. Neste contexto, têm-se buscado soluções baseadas na natureza, como os serviços ecossistêmicos para lidar com esses problemas e trazer diversos benefícios para a população (McPhearson *et al.*, 2022).

A teoria ecologia indica que a biodiversidade exerce um impacto positivo e fortalecedor na prestação dos serviços ecossistêmicos. Estudos realizados em diferentes tipos de culturas agrícolas mostraram um impacto positivo na redução da poluição do ar, do solo, no controle de pragas, ocorre o aumento da biodiversidade, da polinização, uma maior ciclagem dos nutrientes, fertilidade do solo e regulação da água, tudo isso sem comprometer o rendimento das culturas, tendo a agrossilvicultura como uma estratégia promissora (Beillouin *et al.*, 2021; Tamburini *et al.*, 2020).

De acordo com a Millennium Ecosystem Assessment, os serviços ecossistêmicos são vantagens que a população obtém dos ecossistemas, e podem ser divididos em 4 categorias: **(i) Serviços de provisão:** que são os produtos obtidos diretamente dos ecossistemas como água, alimentos, madeiras que são essenciais para o bem estar e sobrevivência das pessoas; **(ii) Serviços de regulação:** são os benefícios que os ecossistemas oferecem para regular processos naturais como prevenção de erosões, regulação do clima (em escala local podem diminuir as ilhas de calor), podem regular também a qualidade do ar através de sequestro de gases como o CO_2 (sequestro de carbono), purificação das águas, controle de desastres naturais entre outros; **(iii) Serviços de suporte:** são benefícios necessários para a

[2] Sigla em inglês, “Mapping and Assessment of Ecosystem Services”

manutenção dos outros serviços ecossistêmicos, incluem a formação de solo, ciclo de nutrientes, regulação de clima de forma global, purificação da água, etc. Seus benefícios não são fáceis de serem percebidos pela sociedade e pelos gestores, pois são na maioria das vezes indireto ou a longo prazo, por isso não muitas vezes ignorados e **(iv) Serviços culturais:** são na maioria das vezes imateriais como por exemplo a recreação e o ecoturismo, inspiração artística, bem-estar espiritual, fortalecendo assim a ligação entre as pessoas e o meio ambiente, a exemplo dos serviços de suporte são ignorados pelos gestores e políticas públicas o que podem levar a uma degradação ou perda desses serviços (Mader *et al.*, 2011; MEA, 2005).

No Quadro 1 é apresentado os 4 tipos de serviços ecossistêmicos com uma breve descrição de cada um deles.

Quadro 1 - Descrição dos múltiplos serviços ecossistêmicos

SERVIÇOS ECOSSISTEMICOS	
SERVIÇO	**DESCRIÇÃO**
SERVIÇOS DE PROVISÃO	
Comida	Os ecossistemas proporcionam as condições necessárias para o cultivo de alimentos, os quais são predominantemente obtidos de agroecossistemas gerenciado.
Matérias-primas	Os ecossistemas oferecem uma grande quantidade de materiais como a madeiras para a construção, biocombustíveis e óleos derivados de plantas selvagens e cultivadas.
Água fresca	Fragmentos florestais influenciam diretamente na quantidade de água potável, tanto no fluxo, armazenamento e purificação para as cidades.
Recursos medicinais	A biodiversidade dos ecossistemas fornece muitas plantas utilizadas em medicinas tradicionais bem como matéria-prima para a indústria farmacêutica.
SERVIÇOS DE REGULAÇÃO	
Clima local e qualidade do ar	Espaços verdes e própria existência de árvores auxiliam na diminuição das temperaturas, e na remição de poluentes do ar.

Sequestro e armazenamento de carbono	Os ecossistemas regulam o clima armazenando gases do efeito estufa. À medida que as árvores crescem, elas removem o Dióxido de Carbono (CO_2) da atmosfera e os armazena em seus tecidos, agindo assim como reserva de carbono
Moderação de eventos extremos	Os ecossistemas criam barreiras contra catástrofes naturais, prevenindo ou reduzindo os danos, tais como enchentes tempestades, deslizamentos de terras, tsunamis.
Tratamento de águas residuais	Ecossistemas de zonas úmidas (várzeas) filtram efluentes, através de microrganismos no solo, assim os patógenos causadores de doenças são eliminados e o nível de nutriente e poluição é reduzido.
Prevenção a erosão e a manutenção da fertilidade do solo	A desertificação e a degradação das terras aceleram os processos de desertificação. Áreas verdes atuam como agente de sustentação do solo, evitando assim sua erosão; A fertilidade dos solos e vital para o crescimento das plantas, e os ecossistemas fornecem ao solo os nutrientes para seu crescimento.
Polinização	Os insetos e os vento polinização as plantas para o desenvolvimento de frutas, vegetais e sementes. Além das abelhas, outros insetos, como também morcegos e aves são agentes de polinização
Controle biológico	Os ecossistemas regulam pragas e doenças que são transmitidas por vetores que atacam plantas, animais e pessoa, através das atividades de predadores e parasitas como pássaros, morcegos, vespas, sapos e fungos agem como controles naturais
SERVIÇOS DE SUPORTE AO HABITAT	
Habitat de espécies	Os ecossistemas fornecem diferentes habitas para o ciclo de vida de uma espécie. As espécies migratórias, como as aves, peixes, mamíferos e insetos dependem dos diferentes ecossistemas durante a migração
Manutenção da diversidade genética	A diversidade genética, que abrange a variedade de genes entre e dentro das populações de espécies, é o que distingue raças ou variedades umas das outras. Alguns habitats se destacam por apresentarem um número excepcional de espécies, o que o trona geneticamente mais diversos do que outros.
SERVIÇO CULTURAL	
Recreação e saúde mental e física	Caminhas e práticas esportes em áreas verdes são uma boa forma de exercício físico e ajuda a relaxar. A importância de espaços verdes para a saúde mental e física está cada vez mais importante.
Turismo	Os ecossistemas desempenham um papel importante para o turismo, seja cultural e ecológicos, proporcionam benefícios económicos e uma fonte vital de rendimentos para muitos países, além de educar as pessoas sobre a importância da biodiversidade

Apreciação estética e inspiração para cultura, arte e design	A linguagem, o conhecimento e o ambiente natural estiveram intimamente relacionados ao longo da história humana. A biodiversidade, os ecossistemas e a paisagem natural tem sido fontes de inspiração pata diversos artistas.
Experiencia espiritual e senso de lugar	Em diversas regiões do globo, características naturais como florestas particulares, cavernas ou montanhas são reverenciadas como sagradas ou possuem profundo significado religioso. A natureza representa um elemento unificador em todas as principais religiões e sistemas de conhecimento tradicionais, e os costumes associados desempenham um papel vital na criação de um senso de pertencimento.

Fonte: Adaptado de (Mader *et al.*, 2011)

3.4.2. Serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano

A natureza envolve compreensões e percepções distintas para as pessoas diferentes, como os valores atribuídos a biodiversidade, aos ecossistemas entre outros, envolvendo dessa forma discussões sobre bens e serviços ecossistêmicos providos pela natureza a sociedade. Tanto a natureza como suas contribuições são determinantes para a existência humana e sua qualidade de vida, e sendo o bem-estar humano e uma dessas contribuições (IPBES, 2019).

Os planos internacionais de sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), têm como meta assegurar um desenvolvimento sustentável, incluindo tanto a melhoria do bem-estar humano quanto a preservação dos ecossistemas. Embora não esteja amplamente praticado para avaliar o progresso rumo ao desenvolvimento sustentável, o conceito de serviços ecossistêmicos, incluindo seus tipos, quantidades, interações e mudanças, sugere uma ligação direta entre biodiversidade e bem-estar humano (Geijzendorffer *et al.*, 2017; Li; Yu; Li, 2023).

Um número crescente de evidências científicas vem comprovando a importância da conexão da natureza para o bem-estar humano, como no caso da saúde mental. Diante da rápida urbanização e da redução global do contato humano com a natureza, é essencial tomar decisões que promovam a preservação ambiental e ampliem as oportunidades de interação com a natureza, contribuindo para uma melhor qualidade de vida (Bratman *et al.*, 2019).

A diversidade biológica exerce uma função fundamental no bem-estar humano, tanto de forma direta, por meio de serviços de fornecimento, regulação e culturais, quando de forma indireta, apoiando os serviços ecossistêmicos. Ao longo do último século, a humanidade se beneficiou da transformação dos ecossistemas em ambientes totalmente urbanizados e da exploração da biodiversidade. Essas

mudanças vieram em perdas de biodiversidade e das alterações nos serviços ecossistêmicos, levando a diminuição do bem-estar para um grupo de pessoas, principalmente os mais pobres. Essas perdas afetam na segurança, o acesso a recurso básicos para uma boa vida, saúde as relações sociais e a liberdade de escolha e ação (MEA, 2005).

Os laços entre serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano são estreitos, o aumento dos processos de urbanização no mundo causou uma rápida mudança no meio ambiente, afetando diretamente os serviços ecossistêmicos e assim alterando profundamente como a população percebem e entendem os serviços ecossistêmicos e o seu bem-estar (Tan *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2019).

O crescimento econômico e crucial no processo de urbanização, porém o problema de fragmentação de áreas verdes e o aumento das emissões de GEE, resultam em poluição ambiental, mudanças climáticas e perda de biodiversidade. Comprometendo o bem-estar da humanidade. A presença de vegetação urbana, como árvores em ruas e parques, pode ajudar compreender esses desafios, reduzindo assim as emissões de GEE, filtrando poluentes, absorvendo águas pluviais e oferecendo sombra durante dias quentes (Richards *et al.*, 2022).

A interação entre o desenvolvimento urbano, os serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano é complexa e está intimamente ligada ao nível de desenvolvimento sustentável da região. sendo um assunto interdisciplinar significativo no estudo dos ecossistemas e da economia social, crucial para o futuro da terra. Em um estudo realizado na China em uma região onde o desenvolvimento urbano e econômico e atrasado, o processo de urbanização causou um impacto prejudicial a estrutura e funcionamento do ecossistema natural, causando desiquilíbrios diretos no desenvolvimento do bem-estar humano (Hu *et al.*, 2021; Liu, Ranran *et al.*, 2021).

Os serviços ecossistêmicos desempenham um papel fundamental no bem-estar humano, incluindo padrões de vida, saúde, cultura, educação e contato com a natureza. Aumento nas taxas de desenvolvimento tem sido frequentemente ligada ao declínio dos indicadores de serviços ecossistêmicos e bem-estar humano, à medida que os ecossistemas naturais são substituídos por superfícies impermeáveis que limitam a capacidade dos ecossistemas de filtrar poluentes atmosféricos, oferecer habitat para a biodiversidade e reter água de chuva (Yee *et al.*, 2021).

Os espaços verdes nas cidades são considerados uma garantia para o bem-estar humano, portanto mantê-los e quando possível aumentar sua área,

principalmente em lugares com uma maior densidade demográfica e de edificações deve ser prioridade para os gestores, moldando assim de forma sustentável os espaços urbanos para preservar o interesse da natureza, da sociedade e da economia (Pukowiec-Kurda, 2022).

A natureza e responsável pela regulação do clima, fornecimento de água, alimentos e energia, todos fundamentais para o bem-estar físico, psicológico e cultural da população. A natureza desempenha um papel fundamental nos processos de polinização, no controle de pragas e na redução de riscos naturais. Além disso, vários ecossistemas terrestres e marinhos são responsáveis pela captura e armazenamento de carbono. A diversidade da natureza continua sendo vital para garantir alternativas diante de um futuro incerto (IPBES, 2019).

3.4.3. O valor dos serviços ecossistêmicos

Sabe-se da importância dos serviços ecossistêmicos no processo de urbanização e para a qualidade de vida da população, mas o seu valor econômico para as cidades precisa ser estudado de forma mais profunda (Lee, 2024).

Recentemente, ocorreu um aumento no interesse pela valorização dos serviços ecossistêmico e da biodiversidade nas pesquisas globais. Isso tem enriquecido nosso entendimento sobre como a natureza beneficia a humanidade e quais medidas podem ser aplicadas para sustentar esses serviços ecossistêmicos (Shrestha *et al.*, 2023).

Os ecossistemas oferecem uma ampla quantidade de serviços e funções para a humanidade, e sua utilização de forma sustentável desempenha um papel fundamental na subsistência. Porém, a sua degradação e resultante nas mudanças de uso e ocupação do solo, levando a uma perda de ecossistemas valiosos e dos serviços ecossistêmicos a eles associados (Mekuria *et al.*, 2023).

As atividades agrícolas utilizam o fornecimento de serviços ecossistêmicos (ciclagem de nutrientes por exemplo), ao mesmo tempo que degradam as contribuições da natureza para as pessoas nos ecossistemas naturais. Esses impactos são motivados principalmente pelo comércio internacional e pelo consumo no exterior, gerando uma perda total dos serviços ecossistêmicos de 5,1 bilhões de dólares por ano^{-1} (Vačkářová *et al.*, 2023).

A perda dos serviços prestados pelos ecossistemas naturais pode levar à degradação ao longo prazo da qualidade ambiental e com o enfraquecimento de serviços como a regulação climática e hídrica pode levar a grandes prejuízos econômicos devido aos impactos causados no clima e no regime de inundações.

Sendo assim é de grande importância que as políticas de desenvolvimento sustentável reconheçam a importância desses ecossistemas naturais e debatam o impacto de sua perda (Arowolo *et al.*, 2018).

Em um estudo realizado em Gana, em uma zona de mineração, foi realizado um estudo sobre o valor dos serviços ecossistêmicos e o impacto causado pela mineração. Com base no estudo é possível que a mineração causou uma perda enorme sobre os serviços de abastecimento e regulação climática, terras cultivadas, a perda das florestas afetou negativamente as famílias com custos significativos. A mineração causou perdas importantes como a identidade cultural, resiliência, produtividade da terra e meios de subsistência entre outros. E de grande importância que o governo, a indústria mineradora e a comunidade intervenham no contexto da sustentabilidade para que possam conter a perda de cobertura natural, assim preservando a subsistência rural, garantindo que os serviços ecossistêmicos e suas contribuições (Kumi; Addo-Fordjour; Fei-Baffoe, 2023).

Incluir valores nos processos de tomadas de decisão e fundamental para esclarecer sobre a importância global dos serviços ecossistêmicos para a sociedade humana. Isso promove respostas e ações positivas na gestão dos ecossistemas, conservação dos recursos naturais, manejo do solo, gestão dos desastres naturais e preservação da água. Além disso a valoração dos serviços ecossistêmicos também pode ajudar a determinar responsabilidade por danos aos recursos naturais e melhorar os mecanismos regulatórios que possibilitam um equilíbrio entre as políticas públicas e o desenvolvimento sustentável (Shrestha *et al.*, 2023).

3.4.4. Pagamentos por serviços ambientais (PSA)

A preservação dos serviços ambientais requer investimentos significativos para a sua restauração, manutenção, preservação e prevenção a degradação. As políticas atuais na América Latina, assim como parte da África priorizam o crescimento econômico com prejuízo a preservação ambiental e social, apesar da importância dessas regiões como provedoras de serviços ecossistêmicos essenciais para a humanidade (Custódio; García López, 2020).

Nos últimos anos, os Pagamentos pelos Serviços Ambientais (PSA) surgiram como uma medida política à perda de biodiversidade a transformação dos ecossistemas prejudicando diretamente as pessoas. A ideia original do PSA era que os proprietários ou usuários de recursos naturais poderiam ser motivados a conservar a natureza e os serviços ecossistêmicos que ela oferece como água pura, sequestro

de carbono, proteção a biodiversidade, desde que recebessem incentivos financeiros que superasse os custos de conservação. Defensores afirmam se os pagamentos fossem realizados com o usuário final em transações de mercado seria mais eficiente do que a regulação governamental (McElwee; Shapiro-Garza; Pascual, 2024).

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é uma ferramenta econômica que possibilita a conservação, recuperação e o manejo sustentável do meio ambiente. Seu uso é indicado devido a urgência em diminuir os impactos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente (Brasileiro *et al.*, 2020).

Os pagamentos por serviços ambientais (PSA) são amplamente utilizados para abordar os desafios ecológicos, recebendo altos investimentos anuais. No entanto, a pesquisa mostra uma falta de contextualização social e um desconhecimento histórico político do território e sobre as questões sociais e ecológicas locais. Além de uma dominância das instituições do norte na produção sobre PES, enquanto países do sul demostra pesquisa empíricas sobre o assunto (Kolinjivadi; Van Hecken; Merlet, 2023).

Embora alguns vejam o pagamento por serviços ambientais como uma solução para a crise ambiental, é claro que é apenas um instrumento econômico eficaz na proteção ambiental, mas não é uma solução definitiva. A essência não está no pagamento pela destruição que virá, mas na compreensão de que o meio ambiente é único, e uma vez destruído, não poderá desempenhar seu papel para as gerações atuais e futuras (Custódio; García López, 2020).

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é uma ferramenta frequente para financiar a conservação da natureza. Contudo, a introdução de incentivos pode acarretar efeitos imprevistos nas motivações naturais, como atitudes e valores em relação ao meio ambiente, levando a uma diminuição nos comportamentos sustentáveis após o PSE, comparados com os observados anteriormente (Huang *et al.*, 2024).

O programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) está sendo cada vez mais adotados globalmente como uma estratégia para melhorar os resultados de sustentabilidade. Embora exista numerosos estudos anuais sopre diversos aspectos do PES, a pesquisa sobre suas contribuições para a sustentabilidade das comunidades e dos ecossistemas dos quais depende me escala global é escassa (Le *et al.*, 2024).

3.5. Exemplos de indicadores de qualidade ambiental nas cidades

A norma ABNT NBR ISO 14001:2015 indica o uso de indicadores ambientais que sejam mensuráveis e a possibilidade de usar esse método de forma quantitativa e qualitativa para que os objetivos ambientais possam ser alcançados(ABNT 14001, 2015). Neste contexto, os Indicadores de Condição Ambiental (ICA) fornecem informações sobre as condições de determinadas regiões e podem ser desenvolvidos para várias categorias ambientais por exemplo: ar, água, solo, flora, fauna seres humanos e estéticos, patrimônio e cultura, biodiversidade e serviços do ecossistema (ABNT 14031, 2015).

Uma medida de preservar ecossistemas protegidos e sua biodiversidade é estimar o valor desses ecossistemas, por meio de indicadores que nos permitam realizar estudos que combinem os dados ecológicos com dados da interferência humana, para definir um padrão e assim mensurar o seu valor, usando para isso estudos cartográficos ou sensoriamento remoto (Caniani *et al.*, 2016).

As atividades antrópicas e os ciclos naturais, aumentam as emissões de GEE principalmente o CO_2 e como consequência o aumento do aquecimento global, afetando diretamente a população das áreas urbanas. Na última década houve um aumento da concentração de CO_2 gerando grande preocupação. Nesse contexto a capacidade elevada que os sistemas florestais têm de sequestrar e armazenar carbono contribuindo assim com a mitigação das mudanças climáticas (Marques, 2022; Raymond *et al.*, 2017).

3.5.1. Temperatura e umidade relativa do ar

Com o processo de urbanização mais intenso, as temperaturas das cidades estão ficando mais altas em decorrência das mudanças climáticas e sendo agravadas pelas ilhas de calor. A implementação das chamadas infraestrutura verdes e azuis realizam um papel importante no controle da temperatura e da umidade do ar. Mas os efeitos dessa infraestrutura ainda sobre a temperatura e a umidade ainda não estão bem esclarecidos (Zhao *et al.*, 2023).

A urbanização, combinada com o aquecimento global extremo, resulta no aumento da temperatura da superfície terrestre, contribuindo para a degradação do meio ambiente e afetando diretamente a população Áreas verdes são reconhecidas por sua capacidade de reduzir e mitigar essas altas temperaturas (Hidalgo García, 2023).

Entre 1961 e 2018, a temperatura global aumentou quase 1 ºC (Tabela 1). Nass regiões tropicais, neste mesmo intervalo, o aumento médio foi de 0,7ºC, provavelmente devido a influência do mar. Já o norte da África e Oriente Médio registraram uma elevação 1ºC, enquanto a média mundial foi de 1,2ºC. (Penny *et al.*, 2020).

Mais da metade da população mundial é afetada pelo clima urbano, e os espaços verdes urbanos são vistos como uma solução baseada na natureza para mitigar os efeitos das ilhas de calor e adaptar as cidades às mudanças climáticas. A compreensão de como os espaços verdes promovem o resfriamento tem como sua principal fonte de dados estudos realizados em países de clima temperado. Já em países de clima tropical, pesquisas semelhantes têm sido conduzidas, sobretudo, durante a estação seca (Best *et al.*, 2023).

Tabela 1 - Aumento da temperatura de 1961 a 2018.

REGIÃO	1961	2018	MUDANÇA
África do Sul e Central	0,06	0,76	0,70
África do Norte e Oriente Médio	-0,04	0,95	0,99
Sul da Ásia	-0,08	0,72	0,80
Sudeste Asiático	-0,01	0,84	0,85
Caribe	-0,09	0,44	0,53
América Central	-0,01	0,45	0,45
América do Sul	0,03	0,73	0,70
Oceania	0,02	0,50	0,49
TROPICS	0,01	0,71	0,70
Resto do Mundo	0,37	1,55	1,18
Mundo	0,18	114	0,96

Adaptado de (Penny *et al.*, 2020)

A expansão urbana não planejada representa um importante obstáculo para as cidades e países em desenvolvimento, esse crescimento impacta de forma negativa a qualidade do meio urbano. Os parâmetros ambientais que sofrem com o efeito da urbanização precisam ser monitoras para a garantia do desenvolvimento sustentável. Parâmetros como a Temperatura da Superfície Terrestres (TST), Cobertura Vegetal (CV) e Material Particulado ($MP_{2,5}$) são alguns exemplos a serem monitorados (Singh; Shukla; Jain, 2024).

O progresso econômico em constante crescimento, combinado com a mobilidade urbana tem potencializado a liberação de poluentes na atmosfera que resultam em uma série de questões ambientais e de saúde pública. Analisar a qualidade do ar é de grande importância para fornecer dados técnicos que orientem a elaboração de políticas públicas que possam mitigar os efeitos da poluição atmosféricas, para isso parâmetros como Partículas Inaláveis (MP_{10}), Partículas Inaláveis finas ($MP_{2,5}$), Fumaça (FMC), Ozônio (O_3), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrogênio (NO_2) e Dióxido de Enxofre (SO_2), outros poluentes como o Dióxido de Carbono (CO_2), e os Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT) são importantes para essas análises de qualidade (Neves *et al.*, 2023).

3.5.2. Temperatura e umidade do solo

Existe uma carência de dados sobre a temperatura do solo em registros meteorológicos, sendo que a temperatura do solo realiza um papel fundamental para a agricultura e ecologia, interferindo no sistema solo-planta (Hubert; Minuzzi, 2020). A camada de vegetação morta sobre o solo traz vantagens e equilíbrios do ecossistema entre o solo e a planta, pois diminui a quantidade de luz que chega ao solo, reduzindo assim a temperatura retendo umidade no solo (Rodrigues *et al.*, 2018).

Tanto a umidade do solo com a umidade da atmosfera são dimensões que influenciam consideravelmente o sistema climático, ainda assim não são evidentes de como a ação conjunta da umidade do solo e da atmosfera afetam a temperatura terrestre (Jiang *et al.*, 2023).

A análise da umidade do solo representa um parâmetro fundamental para a resistência dos ecossistemas, como auxilia no processo de regeneração desses ambientes e na compreensão do sistema água, vegetação e atmosfera (Lopes *et al.*, 2011).

Solos mais seco contribuem para climas mais quentes em um estudo realizado por Zuo et al. (2024) baseado em modelos climáticos, revelou que a manutenção dos atuais níveis de umidade do solo poderia adiar o alcance dos níveis de aquecimento de 1,5ºC a 2,0ºC em pelo menos 10 anos. O reflorestamento em regiões de baixa latitude como o Brasil seria uma maneira eficaz de controlar a umidade do solo, contribuindo para mitigar as mudanças climáticas.

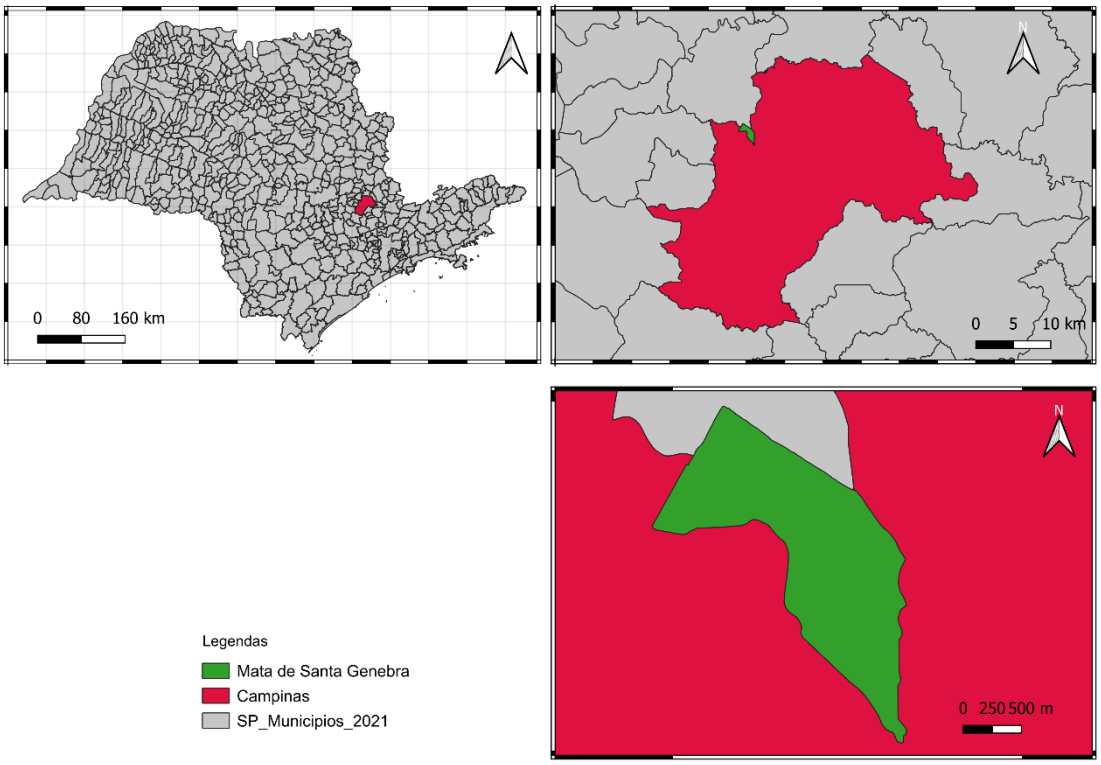
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O Município de Campinas – SP (Figura 1) possui uma área total de 764,4 Km^2 divididos em perímetro urbano com 419,12 Km^2 e área rural com 377,28 Km^2, com altitude de 680 metros em relação ao nível do mar e uma população de aproximadamente 1,3 milhões. Campinas está localizada na Bacia do Rio Tietê com coordenadas 22º53'20"S e 47º04'40"W (Campinas, 2024).

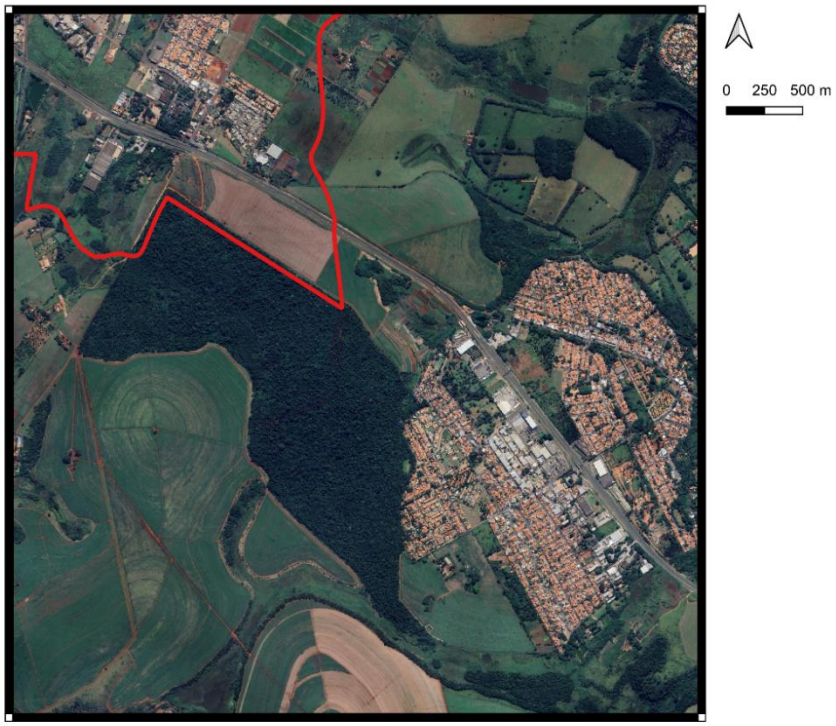
Ao Norte o município é cortado pelos Rios Jaguari e Atibaia formando o Rio Piracicaba. A Oeste destaca-se o Ribeirão Quilombo que desagua no Rio Piracicaba. O Rio Capivari atravessa a cidade na parte sul e é afluente do Rio Tietê. A área de drenagem do município é composta por três grandes sub-bacias (i) Atibaia/Jaguari, (ii) Quilombo e (iii)Capivari. O distrito de Barão Geraldo onde se localiza a ARIE (Área de Relevante Interesse Ecológico) Mata de Santa Genebra está inserido na bacia do Rio Atibaia (Brasil, 2021b).

Figura 1. Mapa com destaque ao município de Campinas e ARIE Mata de Santa Genebra.



A ARIE Mata de Santa Genebra (Figura 2) está localizada na Macrozona 3 que é uma Área de Urbanização Controlada (AUC) onde se localiza Distrito de Barão Geraldo, Região dos Amarais e o Eixo Dom Pedro I, entre a Central de Abastecimento de Campinas S. A. (CEASA) e o Bairro Santa Cândida, com coordenadas de 22º44’45’’S e 47º06’33’’W, seus limites estão cortados por duas rodovias SP 332 Campinas/Paulínia e a SP 65 Rodovia Dom Pedro I. Sua área total é de 251,7 ha, sendo 15% de floresta hidrófila ou floresta do brejo e 85% floresta estacional semidecídua (Brasil, 2021b).

Figura 2. Mata de Santa Genebra, em *vermelho limite do município de Campinas*.



A Mata de Santa Genebra foi o que restou da Fazenda Santa Genebra, que pertencia ao Barão Geraldo de Resende, passando depois para a Família do Sr. José Pedro de Oliveira. Em 1981 a viúva do Sr. José, Dona Jandyra fez a doação para o Município de Campinas desde que a Mata fosse preservada. O Termo de doação foi assinado no mesmo dia da criação da Fundação José Pedro de Oliveira (FJPO) pela Lei Municipal Nº 4118 de 14 de julho de 1981 e seu uso ficou exclusivo para fins científicos e culturais. Em 1983 foi tombada como Patrimônio Natural pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico e Turístico do Estado de São Paulo (CONDEPHAAT) pela Resolução Nº 03 de 03 de fevereiro de 1983. Em 1985 foi declara área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) pelo Decreto Federal Nº 91885

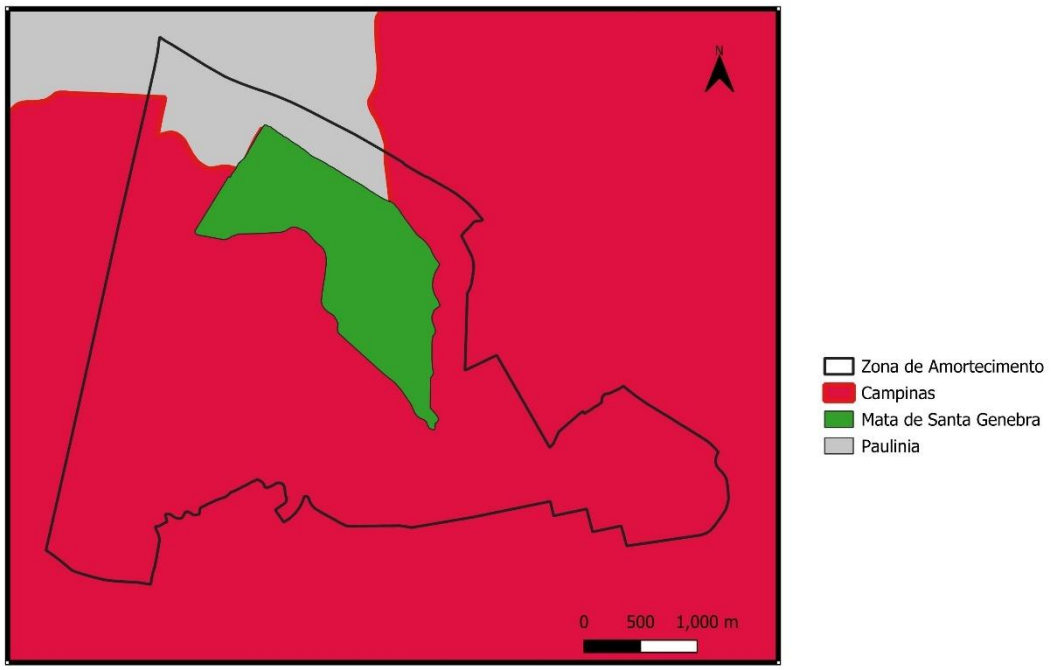
de 05 de setembro de 1985. Em 1992 foi a vez do Município de Campinas através do Conselho de Defesa Artístico e Cultural de Campinas (CONDEPACC) de realizar o tombamento como Patrimônio Natural pela Resolução Nº 11 de 29 de setembro de 1992 (Brasil, 2021b).

Por ser uma Unidade de Conservação (UC) Federal, está subordinada ao Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade (ICMBio), órgão do Ministério do Meio Ambiente. Com isso sua gestão e compartilhada desde 23 de fevereiro de 2010 entre o ICMBio, A PMC (Prefeitura Municipal de Campinas) e a FJPO pelo termo de reciprocidade Nº 01/2010 referente ao processo 10/10/3261 (Brasil, 2021b).

A vegetação da ARIE Mata de Santa Genebra é constituída de– fragmentos florestais de três tipos (1) Floresta Estacional Semidecidual, é uma formação predominante na região de Campinas com caraterísticas de perda das folhas no período secos, outono e inverno, (2) Floresta Paludosa também conhecida como Mata de Brejo sua principal característica e o solo permanentemente encharcado e, por fim, (3) Cerrado quase em extinção em campinas e cuja principal característica e a presenças dos galhos retorcidos troncos com casca grossa e rugosa e folhas também grosas. A ocupação da zona de amortecimento é bem variada, com parte rural, parte industrial e parte urbana, fazendo uma enorme pressão sobre a Mata de Santa Genebra. Com base na classificação de Köeppen, o clima é do tipo Cwa com uma estação quente e chuvosa (outubro/março) e uma estação seca (abril/setembro). Uma análise pedológica sobre o solo da Mata mostrou que cerca de 80% do solo é ocupado pelo Latossolo Vermelho Escuro com textura argilosa (Brasil, 2021b).

Para cumprir a Portaria do ICMBio nº 64 de agosto de 2010 foi criada uma Zona de Amortecimento (Figura 3) da ARIE Mata de Santa Genebra. A Zona de Amortecimento tem como objetivos, a melhoria da qualidade de vida da população, o desenvolvimento de técnicas de baixo impactos na produção rural, conter os efeitos externos que possam prejudicar a Mata, formação de corredores ecológicos e promover a recuperação e manutenção da biodiversidade e dos recursos hídricos (Brasil, 2021b).

Figura 3 - Zona de Amortecimento da ARIE Mata de Santa Genebra



4.2. Coleta e análises dos dados

4.2.1. Coleta de dados

Para permitir um conhecimento dos eventos naturais e antropogênicos que afetam o ambiente, uma metodologia correta é essencial para garantir a confiabilidades dos resultados. Desta forma, para o presente estudo, foram instalados sensores temperatura e umidade relativa do ar, bem como temperatura e umidade do solo em dois locais distintos na Mata de Santa Genebra, bem como em uma área urbanizada no interior do campus 1 da PUC-Campinas como área urbana, sendo assim caracterizados:

Ponto 1 - nominado interior da mata (INT) está localizado dentro da mata a 10 m da borda com coordenadas -22,823907, -47,105346, com uma diversidade de espécies vegetais, solo coberto por uma camada de serrapilheira e sombra fornecida pelo dossel que filtra a luz solar, que resulta em umidade contínua do solo. Na sua área de influência está uma estrada de servidão da própria mata de Santa Genebra, uma construção de alvenaria que é a casa de reprodução do borboletário e uma rua que deve estar aproximadamente a 20 m do ponto (Figura 4).

Figura 4 - Ponto de coleta no interior da mata de Santa Genebra.

Ponto 2 - nominado borda da mata (BOR), com coordenadas: -22,8341396, -47,105516, com solo exposto, servindo como área de interação entre a mata e atividades de plantio da fazenda, a estrada de servidão que ajuda no manejo da área da mata está passando ao lado do ponto escolhido (Figura 5).

Figura 5 - Ponto na borda da mata de Santa Genebra

Ponto 3 - área urbanizada que está localizada no Campus I da PUC-Campinas (URB), situa-se próximo ao Laboratório de Saneamento da Escola Politécnica com vários prédios ao redor com Coordenadas: -22,8321808, -47,0526094. Existe uma rua para acesso ao estacionamento, com uma pequena área de solo gramado onde os sensores formam instalados. Na redondeza encontra-se um bairro residencial, com várias casas que servem como moradias para os estudantes. Além disso, redor localiza-se uma fazenda pertencente a Unicamp (Figura 6)

Figura 6 - Ponto em área urbaniza PUC-Campinas - Campus I

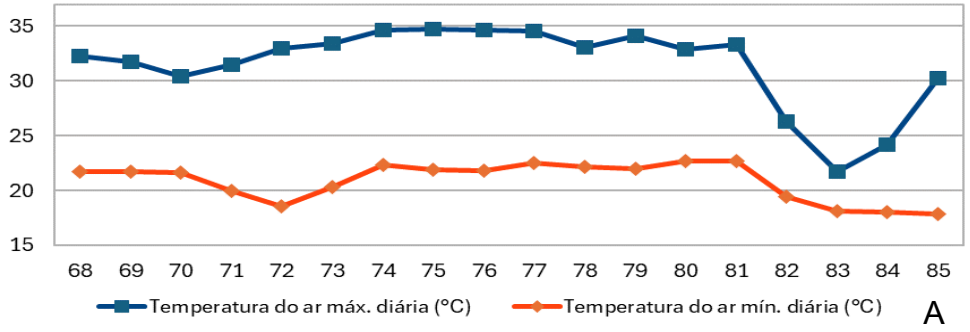
Para cada ponto de coleta, foi instalado um conjunto de sensores de temperatura e umidade do ar, temperatura e umidade do solo. Os sensores de temperatura e umidade do ar foram instalados a uma altura de 2 m em relação ao solo, para evitar alguma influência direta dele. Os sensores de temperatura e umidade do solo foram inseridos perpendicularmente em relação a superfície do solo a uma profundidade de 5,4 cm. Para capturar as variações ao longo dos dias ficou estabelecido um período de exposição por 15 dias (de 09 a 23/03/2024) durante o verão (estação chuvosa), com leituras a cada 30 minutos, essa exposição prolongada se justifica para entender e analisar as variações ao longo do espaço e tempo, foi realizada coleta no inverno (estação seca) para uma melhor compreensão.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os dados da m eteorologia (temperatura do ar máxima diária, temperatura do ar mínima diária e

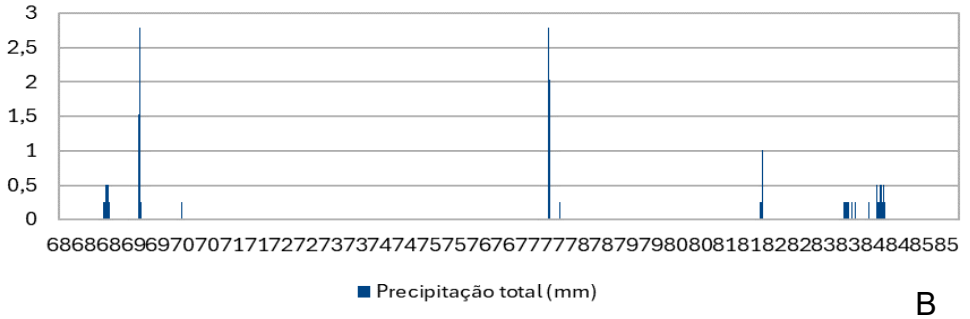
precipitação diária) obtidos do CEPAGRI/UNICAMP para o período de leitura dos dados deste trabalho.

Figura 8 mostra a localização das áreas de leitura dos parâmetros ambientais com uma visão geral e mostrando a distância entre as áreas (A), área da PUCC I representando uma área urbanizada (B), a borda da mata que fica em frente a uma fazenda (C) e o borboletário que está a 10 metros dentro da mata.

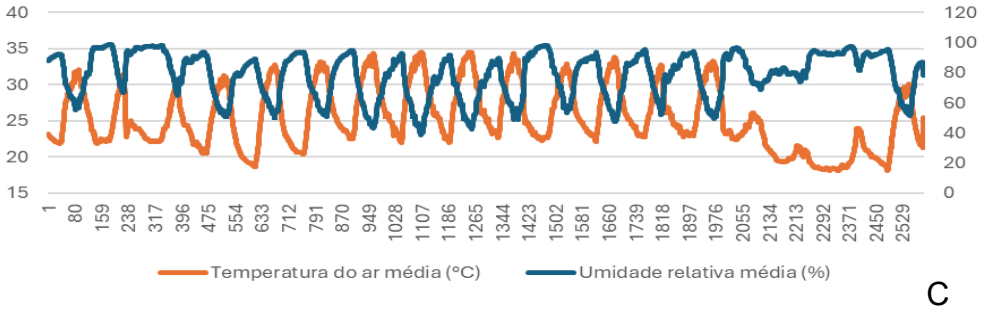
Figura 7 - Dados CEPAGRI/UNICAMP para os dias de coleta de dados na estação chuvosa



A

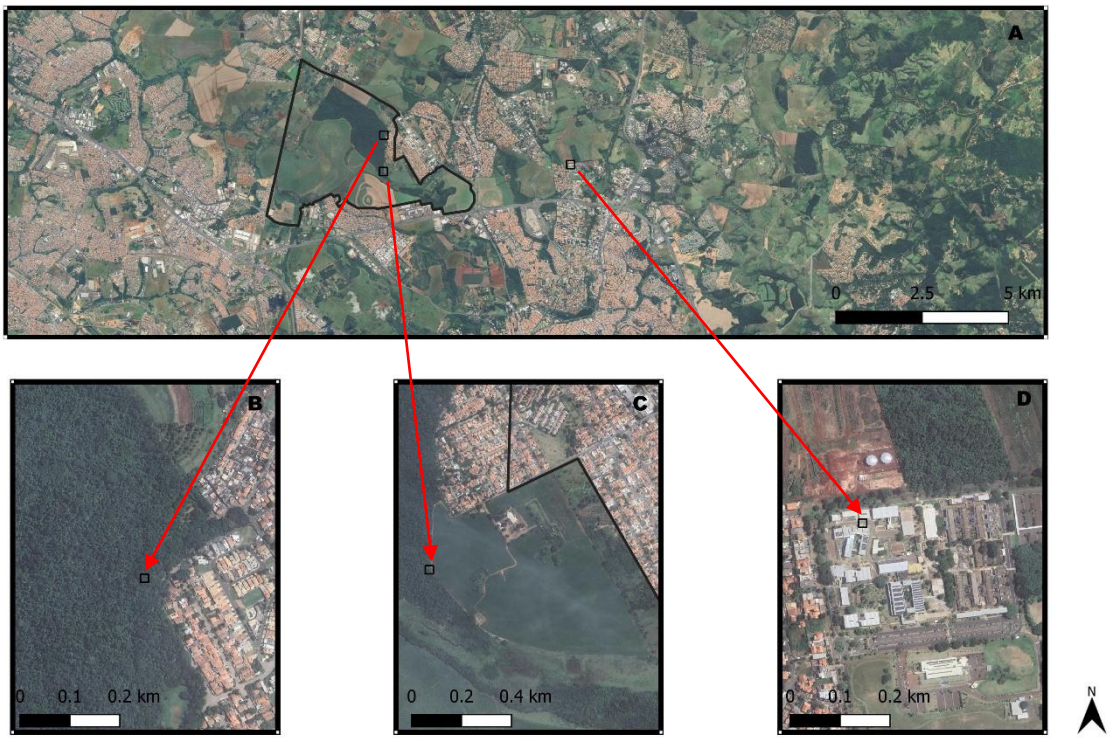


B



C

Figura 8 - Localização das áreas de leituras dos parâmetros ambientais (A) visão geral, (B) Interior da mata, (C) Borda da mata e (D) área urbana (PUC-campinas campus I)



Os equipamentos usados são da marca HOBO e adquiridos em dezembro de 2023, foram calibrados na empresa fornecedora e passaram por um período de testes para verificar seu funcionamento. Em campo no período de coleta ficaram uma semana para ajuste ao local e depois foram feitas as leituras dos parâmetros.

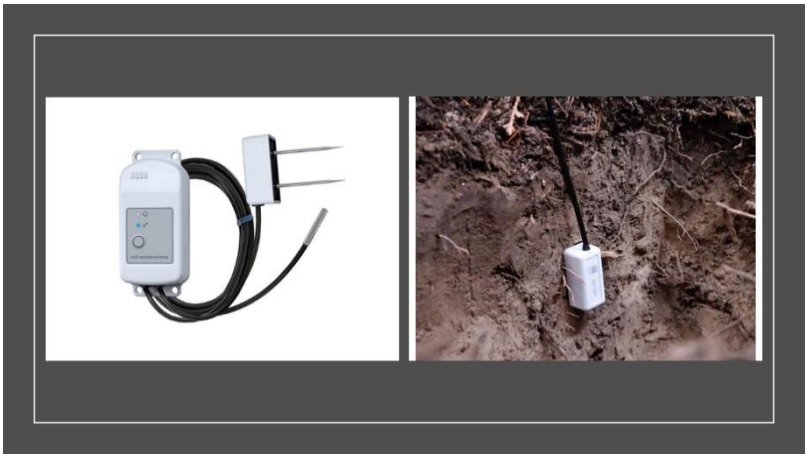
Para a temperatura e umidade relativa do ar foi utilizado o DataLogger com Bluetooth MX2301A (Figura 9) robusto que suporta ambientes extremos, o sensor de temperatura trabalha com faixa de medição de -40ºC a 70ºC com resolução de 0,04ºC e um desvio de menor que 0,01ºC por ano, já o sensor de umidade relativa trabalha com um faixa de 0 a 100%, com resolução de 0,01% e desvio menor que 1% por ano informações declarada pelo fabricantes.

Para registrar os dados de temperatura e umidade do solo foi utilizado o sensor com bluetooth MX2307 (Figura 10), a umidade de solo e medida pelo teor volumétrico de água (VWX) com faixa de medição de 0,00 a 0,64 m^3/m^3, com resolução de 0,001 m^3/m^3, e frequência de medição de 70MHz, já o sensor de temperatura trabalha na faixa de -40ºC a 100ºC, resolução de 0,04ºC e desvio menor que 0,01ºC por ano, informações declarada pelo fabricante.

Figura 9 -DataLogger de temperatura e umidade relativa do ar

Fonte: https://sigmasensors.com.br/produtos/data-logger-de-temperatura-e-umidade-com-bluetooth-mx2301A

Figura 10 - DataLogger de temperatura e umidade do solo MX2307



Fonte: https://sigmasensors.com.br/produtos/registrador-de-dados-temperatura-e-umidade-do-solo-com-bluetooth-mx230x

Para a coleta dos parâmetros foi estabelecida uma estratégia para abranger diferentes ambientes:

- ✓ Interior da Mata de Santa Genebra a 10 metros da borda, onde a vegetação é mais densa e a influência humana é mínima;
- ✓ Borda onde ocorre uma transição da vegetação mais densa e áreas mais abertas para capturar a variação dos parâmetros dessa transição;
- ✓ Área urbanizada, com maior exposição e atividade humana.

Essa diversidade de locais permite capturar as variações ambientais decorrentes das características de cada ambiente.

4.2.2. Parâmetros ambientais analisados

Os parâmetros ambientais analisados referem-se às diversas variáveis que foram monitoradas para avaliar a qualidade dos locais determinados, sendo essencial para compreender como se encontra o ambiente e possíveis riscos para a saúde humana, podendo ser assim descritos:

- ✓ **Temperatura do ar (T_{ar})** – é uma grandeza física resultante do equilíbrio da superfície terrestre e a atmosfera, pode várias de acordo com a altitude, alterações climáticas, sazonalidades ou mesmo pelas características físicas do local, como a quantidade de insolação recebida, distâncias dos corpos hídricos, relevo, vento, os registros de temperatura são realizados desde 1958 entre os horários das 7h às 24h (Coelho, 2007; USP, 2024).
- ✓ **Umidade Relativa (UR_{ar})** – é a relação da quantidade de vapor de água em um certo volume de ar, levando em conta a temperatura atual. Geralmente a umidade do ar e baixa no período de inverno e início da primavera, especialmente entre as 12 e 16h, em períodos chuvosos a umidade aumenta, devido a evaporação que se segue e em regiões de florestas ou próximas a locais com água quando a temperatura cai tem-se a formação de orvalho. A medição de umidade relativa do ar é feita desde 1968, também entre 7h e 24h (Coelho, 2007).
- ✓ **Umidade do Solo (UV_{solo})** – a análise da umidade volumétrica do solo é essencial para avaliar a resistência dos ecossistemas e sua restauração, como também para a formulação de modelos que descrevem a interação entre água, vegetação e atmosfera (Lopes *et al.*, 2011; Zuo *et al.*, 2024a).
- ✓ **Temperatura do solo (T_{solo})** – a temperatura do solo é um fator importante nas caracterizações de microclimas, além de ser de grande importância agrícola e ecológica para a regeneração da vegetação, esses dados de temperatura do solo podem ser importantes para analisar por exemplo a quebra de dormência das sementes e a influência nos crescimentos das raízes de pequenas mudas (Hubert; Minuzzi, 2020; Quaresma *et al.*, 2018).
- ✓ **Temperatura de Ponto de orvalho (T_{po})** – a definição de ponto de orvalho é a temperatura na qual a umidade relativa pode atingir 100%, quanto mais próximo a temperatura de ponto de orvalho for da temperatura do ar, mais umidade o ar contém (Faria, 2021).

4.2.3. Análise dos dados

A coleta de dados estatísticos tem aumentado significativamente em diversas áreas de pesquisa. Contudo, uma extensa lista de dados coletados não permite conclusões claras, especialmente grandes conjuntos de dados. A análise descritiva é a fase inicial do estudo desses dados. Ela utiliza métodos de estatísticas descritiva para organizar, resumir e descrever aspectos importantes de um conjunto de características observadas ou para comparar essas características entre diferentes conjuntos, incluindo gráficos, tabelas, medidas de tendência central (média, mediana e moda), medidas de dispersão (desvio padrão, variância, amplitude interquartil), máximos e mínimos e diferenças entre elas (Reis; Reis, 2002).

Para a descrição e análise dos dados, foram utilizadas as médias diárias registradas ao longo do período de estudo, todas as análises foram realizadas no software PAST versão 4.04.

A análise multivariada, de maneira geral, refere-se aos métodos estatísticos que examinam simultaneamente diversas medidas para cada indivíduo ou objeto de estudo. Neste contexto, a análise de componentes principais (PCA)[3] é uma técnica estatística multivariada que converte um conjunto de variáveis originais em um novo conjunto de variáveis e com a mesma dimensão chamados de componentes principais. A análise de componentes principais visa à redução da quantidade de dados, com a menor perda de informação (Hongyu; Sandanielo; Junior, 2016; Varella, 2008).

Outra análise multivariada utilizada é um escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS)[4], é uma técnica que tem como objetivo testar como as estações do ano (seca e chuvosa) influenciam no microclima reunindo informações de diferentes locais, em um número reduzido em relação ao original, considerando as distâncias ou similaridades entre os elementos (LEFCHECK, 2012), para a realização do NMDS foi utilizado o índice de similaridade de Bray-Curtis. A similaridade de Bray-Curtis e dada pela fórmula:

$$BC = \frac{2\ \sum_{i=1}^{S} \min(n_{i1}\ , n_{i2})}{N}$$

Onde: BC é o índice de Bray-Curtis

N é a soma das variáveis e parcelas

[3] Em inglês: Principal component analysis
[4] Em inglês: non-metric multidimensional scaling

min (n_{i1}, n_{i2}) é a menor das duas variáveis *i* entre duas parcelas

n_{i1} e n_{i2} são as abundâncias da *i*-ésima variável na primeira e segunda parcela.

S é o total de variáveis

Como o índice de Bray-Curtis e expresso pela distância (similaridade ou dissimilaridade) e representado pela fórmula:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{S} |n_{i1} - n_{i2}|}{N}$$

Onde: D é a distância de Bray-Curtis

$|n_{i1} - n_{i2}|$ é o valor absoluto das diferenças das variáveis *i* nas duas parcelas.

N é a soma das variáveis e parcelas (Rodrigues, 2024)

Aplicou-se a distribuição de lambda de Wilks usado no MANOVA[5] que busca verificar se existem diferenças entre grupos, a partir de dados fornecidos, o lambda de Wilks é usado para testar os efeitos principais e as interações (Liu, 2016; Pontes, 2005), assim o teste de lambda Wilks é representado pela equação:

$$\Lambda = \frac{|W|}{|T|}$$

Onde: Λ é o lambda de Wilks,

W é a matriz de soma dos quadrados e produtos dentro dos grupos,

T é a matriz de soma dos quadrados e produtos total.

Para grandes amostras, o teste de lambda de Wilks se transforma em uma estatística *F* com a seguinte fórmula:

$$F = \frac{(1 - \Lambda^{\frac{1}{s}})}{\Lambda^{\frac{1}{s}}} X \frac{pN - p + s + 1}{p}$$

Onde: *p* é o número de variáveis dependentes,

N é o número de observações,

S é o número de grupos.

Aplicou-se a distribuição de lambda de Wilks usado no MANOVA[6] que busca verificar se existem diferenças entre grupos, a partir de dados fornecidos, o lambda de Wilks é usado para testar os efeitos principais e as interações (Liu, 2016; Pontes, 2005), assim o teste de lambda Wilks é representado pela equação:

[5] Em inglês: Multivariate analysis of variance
[6] Em inglês: Multivariate analysis of variance

Outra metodologia aplicada foi a análise de agrupamento, ou clustering, que é um conjunto de técnicas computacionais, cujo objetivos é agrupar áreas com características comuns. Esse critério normalmente se baseia em uma função de dissimilaridade, que recebe dois objetos e retorna a distância entre eles (Linden, 2009).

4.3. Relação dos parâmetros de análise e serviços ecossistêmicos de regulação climática

Neste tópico foi abordado a relação dos dados obtidos com os serviços ecossistêmicos de regulação que são os benefícios que os ecossistemas oferecem para regular processos naturais como prevenção de erosões, regulação do clima (em escala local podem diminuir as ilhas de calor), a qualidade do ar através de sequestro de gases como o CO_2 (sequestro de carbono), purificação das águas, controle de desastres naturais entre outros (MEA, 2005).

Alterações no uso e ocupação do solo causaram impactos importantes nos serviços ecossistêmicos. O serviço de regulação climática, que contribui para o resfriamento urbano e é essencial em resposta as mudanças climáticas e pode ser uns dos mais afetados pela mudança de uso e ocupação do solo. Preservar e ampliar áreas verdes é fundamental para o controle dos impactos das ilhas de calor, através do fornecimento de sombras, modificação das propriedades térmicas do ambiente e resfriando o ambiente através da evapotranspiração (Natural Capital, 2024; Wu *et al.*, 2024a).

Ao analisar como o usos e ocupação do solo influenciam o clima urbano, políticas púbicas de conservação e ampliação de espaços verdes podem ser desenvolvidas para a mitigar os efeitos das mudanças climáticas garantindo um desenvolvimento urbano sustentável (Wu *et al.*, 2024a).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo reforçam a hipótese de que áreas verdes desempenham um papel crucial na oferta de serviços ecossistêmicos de regulação, especialmente no que diz à regulação climática. Esses espaços podem contribuir significativamente para a adaptação das cidades a eventos extremos, como ondas de calor, além de melhorar a qualidade de vida da população. Isso ocorre porque as áreas verdes influenciam diretamente nas variações de temperatura e umidade do ar.

Para Nowak (2022) as árvores e florestas desempenham um papel direto na regulação das temperaturas locais, contribuindo para a redução do calor por meio da evapotranspiração e do sombreamento da superfície. Além disso, atuam de forma indireta no sequestro do carbono da atmosfera. A eficácia da regulação do microclima desse serviço de regulação climática está diretamente relaciona à concentração da cobertura arbórea na área. Assim, em áreas urbanas onde a quantidade de árvores tem diminuído devido à expansão das áreas urbanizadas, observa-se um aumento na ocorrência de eventos extremos, como tempestades torrenciais, proliferação de doenças, seca acentuadas, entre outros. Em áreas com uma estrutura de vegetação mais complexa, ocorrem condições de maior umidade e temperaturas mais moderadas, relacionadas aos serviços de regulação do clima (Vieira *et al.*, 2018).

A compreensão sobre a importância dos serviços ecossistêmicos amplia a discussão sobre a importância das áreas verdes para cidades resilientes e sustentáveis. Para Freitas; Dantas; Santos, (2023) as áreas verdes desempenham um importante papel como reguladores do clima local, contribuindo diretamente na diminuição da temperatura e o aumento da umidade relativa, colaborando com o serviço ecossistêmico de regulação climática.

Como exemplo, as cidades latino-americanas de Bogotá (Colômbia) e Santiago (Chile) entre 1985 e 2014, mostraram que a migração urbana e uma falta de planejamento causaram uma elevação da temperatura de 2ºC em 1985 para 5ºC em 2014 em Bogotá. Já Santiago neste mesmo período teve um aumento de 4ºC, resultado de uma combinação de alta densidade populacional e aumento das superfícies impermeáveis (Dobbs *et al.*, 2018).

Tabela 2 - Estatística descritiva estação chuvosa

Variável		Local	N	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
T_{ar} (ºC)	DIURNO	Interior mata	383	25,34	3,35	31,49	18,50
		Borda mata	383	27,27	4,79	36,01	18,28
		Urbano	383	30,75	6,23	39,61	17,90
	NOTURNA	Interior mata	384	22,55	1,94	26,98	18,34
		Borda mata	384	22,89	2,39	28,98	18,40
		Urbano	384	23,92	3,29	32,31	17,55
UR (%)	DIURNO	Interior mata	383	82,42	10,56	97,54	60,83
		Borda mata	383	73,93	14,78	97,49	43,38
		Urbano	383	59,51	16,28	94,84	37,03
	NOTURNA	Interior mata	384	88,77	6,70	96,98	69,74
		Borda mata	384	85,88	8,29	97,27	60,48
		Urbano	384	75,61	10,31	92,30	49,03
T_{po} (ºC)	DIURNO	Interior mata	383	21,99	2,27	25,46	15,89
		Borda mata	383	21,84	2,38	27,44	15,57
		Urbano	383	21,89	2,31	25,35	14,76
	NOTURNA	Interior mata	384	20,58	2,05	23,47	15,70
		Borda mata	384	20,34	2,04	23,66	15,10
		Urbano	384	19,19	1,85	22,24	14,41
T_{solo} (ºC)	DIURNO	Interior mata	383	24,18	1,27	25,87	20,89
		Borda mata	383	25,67	2,58	29,77	19,90
		Urbano	383	29,70	3,90	36,59	22,61
	NOTURNA	Interior mata	384	23,97	1,15	25,61	20,85
		Borda mata	384	24,28	1,87	27,80	19,77
		Urbano	384	26,54	1,92	30,93	22,61
UV_{solo} (%)	DIURNO	Interior mata	383	11,13	1,82	15,50	8,81
		Borda mata	383	19,24	4,85	35,66	16,09
		Urbano	383	18,26	5,04	36,62	10,94
	NOTURNA	Interior mata	384	11,14	1,86	15,58	8,99
		Borda mata	384	19,49	5,02	37,18	15,98
		Urbano	384	18,54	4,72	29,01	11,04

Onde: Tar = Temperatura do ar (ºC), UR=Umidade Relativa (%), Tpo=Ponto de orvalho (ºC), Tsolo=Temperatura do Solo (ºC) e UVsolo=Umidade do solo (%).

Na Tabela 2 apresenta-se um resumo da análise estatística descritiva dos dados coletados durante a estação chuvosa, comparando área de mata, borda e urbanizada. O resumo inclui a média, o desvio padrão, os valores máximos e mínimos

registrados durante o monitoramento em campo, realizado entre os dias 08 e 22 de março de 2024. Essa síntese permite uma análise detalhada das variáveis estudadas.

A análise descritiva dos dados coletados (Tabela 2) revelou que a maior média da temperatura do ar (T_{ar}) diurna foi registrada na área urbana do campus I da PUC-Campinas (URB) com 30,75 ºC, seguido pela borda da mata (BOR) com 27,77ºC e pelo interior da mata (INT) com 25,34ºC. As temperaturas máximas foram de 39,61ºC na URB, 36,01 na BOR e 31,49ºC no INT, evidenciando uma diferença de 8,12ºC entre as máximas entre URB e do INT. Esses dados demostram claramente que as áreas verdes tendem a diminuir as temperaturas locais.

A umidade relativa do ar (UR) apresentou um padrão esperado, com a maior média diurna registrada no interior da mata (INT), com 82,42%, seguida pela borda da mata (BOR) com 73,93% e pela área urbana (URB), com 59,51% Esses resultados destacam a importância das áreas verdes na manutenção de níveis elevados de umidade (Tabela 2). A umidade relativa mínima, conforme apresentado na Tabela 2, foi registrada na URB com 37,03%. Esse valor pode ser atribuído à pouca vegetação, a maior exposição solar e à presença de solos impermeáveis. Em seguida, foram observadas 43,38% na BOR e 60,83% no INT. A diferença entre as mínimas das áreas INT e URB foi de 23,80%.

A temperatura do solo (T_{solo}) apresentou sua máxima na área URB, com 36,59ºC, seguida pela BOR 29,77ºC, e pelo INT com 25,87ºC. A diferença de 10,72ºC entre INT e URB, indica que, em áreas sombreadas, ocorre uma proteção contra a radiação solar, resultando em temperaturas mais baixas do solo (Tabela 2). A umidade do solo (UV_{solo}) teve a maior média diurna na BORD com 19,24%, seguida pela URB com 18,26% e INT com 11,13% (Tabela 2).

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**é apresentado um resumo da a nálise dos dados coletados no período seco, incluindo métricas como média, desvio padrão, máximos e mínimos registrados durante o monitoramento em campo, realizado entre os dias 4 e 19 de setembro de 2024, permitindo assim uma análise detalhada das variáveis estudadas.

A análise descritiva dos dados coletados durante o período seco (Tabela 3) revelou que a maior média da temperatura do ar (T_{ar}) diurna foi registrada na área urbana do campus I da PUC-Campinas (URB) com 30,38ºC, seguida pela borda da mata (BOR) com 27,62ºC e pelo interior da mata (INT) com 25,70ºC. As temperaturas

máximas foram de 40,73ºC na URB, 36,48 na BOR e 36,72ºC no INT, com uma diferença de 4,01 ºC entre as máximas registradas na URB e no INT.

Tabela 3 - Estatística descritiva estação seca

Variável		Local	N	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
T_{ar} (ºC)	DIURNO	Interior mata	385	25,70	6,34	36,72	13,84
		Borda mata	385	27,62	6,22	36,48	13,49
		Urbano	385	30,38	6,16	40,73	15,16
	NOTURNA	Interior mata	372	19,87	3,18	28,03	14,20
		Borda mata	372	20,09	3,62	29,51	13,37
		Urbano	372	22,13	3,83	30,26	14,80
UR (%)	DIURNO	Interior mata	385	53,10	20,07	90,43	19,60
		Borda mata	385	46,99	19,79	93,32	18,25
		Urbano	385	39,82	16,35	88,62	17,90
	NOTURNA	Interior mata	372	66,67	11,16	90,34	36,65
		Borda mata	372	65,40	13,57	89,81	28,73
		Urbano	372	54,17	17,63	92,75	25,80
T_{po} (ºC)	DIURNO	Interior mata	385	14,11	2,24	18,59	9,16
		Borda mata	385	13,79	2,56	19,24	7,01
		Urbano	385	13,89	2,73	19,32	6,68
	NOTURNA	Interior mata	372	13,25	2,04	18,58	9,00
		Borda mata	372	12,99	2,16	17,81	7,50
		Urbano	372	11,58	2,84	18,30	6,49
T_{solo} (ºC)	DIURNO	Interior mata	385	21,61	1,92	25,57	18,62
		Borda mata	385	24,44	3,28	30,46	17,41
		Urbano	385	30,10	5,29	39,94	19,95
	NOTURNA	Interior mata	384	20,68	1,07	23,25	18,62
		Borda mata	384	21,90	2,10	26,34	17,46
		Urbano	384	24,11	1,98	30,24	20,03
UV_{solo} (%)	DIURNO	Interior mata	385	4,85	0,47	6,20	4,03
		Borda mata	385	8,71	0,35	9,77	7,48
		Urbano	385	6,82	0,69	8,34	5,13
	NOTURNA	Interior mata	384	4,68	0,59	11,59	3,81
		Borda mata	384	8,38	0,31	9,06	7,56
		Urbano	384	6,18	1,06	21,94	5,01

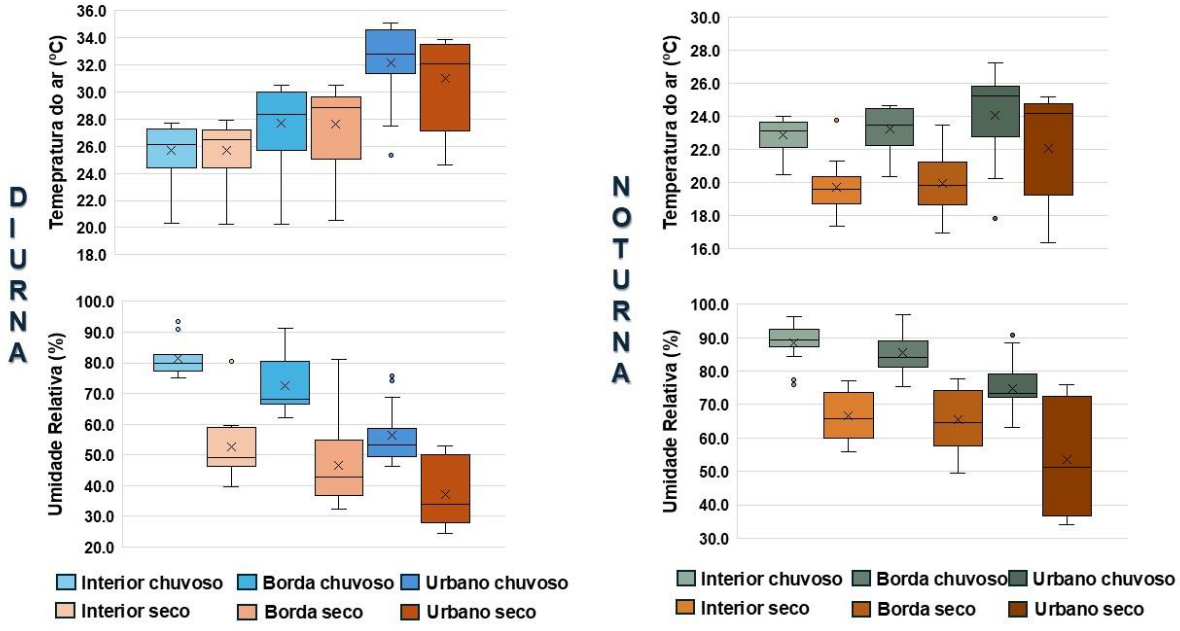
Onde: Tar = Temperatura do ar (ºC), UR=Umidade Relativa (%), Tpo=Ponto de orvalho (ºC), Tsolo=Temperatura do Solo (ºC) e UVsolo=Umidade do solo (%).

A umidade relativa do ar (UR) apresentou um padrão esperado com a maior média diurna no INT de 53,10% mostrando a importância das áreas verdes em manter

os níveis elevados de umidade. Por outro lado, a URB apresentou a menor UR com 17,90%, assim como a mínima diurna de 39,82%, possivelmente devido a pouca vegetação e a uma área mais exposta a radiação solar. A área BOR ficou com uma média diurna de 46,99%. A máxima UR foi na área INT com 90,54% e a maior diferença das mínimas foi de 23,80% entre INT/URB (Tabela 3).

A Figura 11 apresenta a média da variação da temperatura, destacando as medianas e valores extremos. Observou-se que a área urbana registrou as maiores médias de temperaturas em ambas as estações, com máxima de 35,11ºC na estação chuvosa e 33,87ºC na estação seca. Além disso, a média da temperatura mínima em todas as áreas ficou em torno de 20,0ºC. No interior e borda, a temperatura não apresentou grandes variações entre as estações, possivelmente influenciado pelo inverno atípico em 2024.

Figura 11 - Boxplot da distribuição da temperatura e da umidade relativa do ar diurna e noturna em diferentes áreas (interior, borda e urbana) nas estações chuvosa e seca



A Figura 11 também ilustra a média da variação das temperaturas no período noturno, mostrando que cada área se comporta de maneira distinta em comparação com o período diurno. O interior chuvoso observou-se uma mediana de 23,10ºC e menor amplitude térmica 3,55ºC em comparação com o interior seco com uma mediana de 19,59ºC e maior amplitude 6,41ºC. A borda seca apresentou uma maior amplitude térmica 6,41ºC e uma mediana de 19,79ºC, a borda chuvosa apresentou

uma mediana de 23,46ºC. A área urbana tanto no período chuvoso como no seco apresentou as maiores amplitudes térmicas e maiores medianas entre as áreas 9,44ºC (chuvoso) e 8,89ºC (seco) para amplitude térmica e medianas de 25,27ºC (chuvoso) e 24,16ºC (seco). Essa amplitude térmica na área urbana ocorre devido a retenção de calor em áreas urbanizadas.

O interior na estação chuvosa apresenta média da umidade relativa do ar em torno de 80% e pequena variação dos dados. Na estação seca, o interior apresenta uma redução da umidade com médias em torno de 50% e ocorre uma maior dispersão dos dados conforme a diferença entre quartis do gráfico.

A borda na estação chuvosa apresenta um média da umidade relativa do ar em torno de 75%, indicando uma umidade similar ao interior na estação chuvosa. Na estação seca a umidade cai consideravelmente, indo de 30% a 80%, o que sugere uma maior influência das condições atmosféricas secas.

A umidade relativa na área urbana na estação chuvosa tem valores médios de 60%, mas com uma maior dispersão dos dados em comparação com as outras áreas na mesma estação. Na estação seca a área urbana registrou os menores valores de umidade com média de aproximadamente 30% e uma maior variação dos dados.

A umidade relativa do ar no período noturno, o interior da mata na estação chuvosa apresenta alta umidade com médias em torno de 90% o que indica uma alta estabilidade e menor variação durante a noite. Na estação seca a média está em 65%, mostrando uma queda da umidade significativa, mas ainda assim maior que o período diurno.

A borda na estação chuvosa apresenta uma umidade relativa do ar média de 85%, com uma semelhança com o interior chuvoso, mas com uma leve dispersão dos dados. Na estação seca essa média está próxima de 65%, com uma variação de 55% a 75% mostrando uma redução em relação a estação chuvosa.

Na área urbana na estação chuvosa os valores médios estão próximos a 70% e a variação entre 60% e 90%. Na estação seca foi registrado a menor umidade a noite com média de 50% e uma ampla dispersão entre 37% e 75%, indicando uma alta variabilidade dos dados.

Quando se compara os gráficos da umidade relativa, o interior e a borda mantêm altos níveis de umidade em ambos os períodos (diurno e noturno), indicando que estas áreas possuem maior capacidade de reter a umidade, muito provavelmente devido à vegetação e menor urbanização. A área urbana exibe maior variação da

umidade, principalmente na estação seca, refletindo os efeitos das áreas mais urbanizadas.

Um estudo analisou os efeitos dos espaços verdes no resfriamento da superfície terrestre em Beijing (China) e Islamabad (Paquistão). Os resultados indicaram que, em Beijing, as áreas verdes reduziram a temperatura em aproximadamente de 5ºC em comparação com áreas urbanizadas. Em Islamabad, essa diferença foi ainda mais significativa, alcançando cerca de 7ºC para a temperatura máxima (Khan; Li, 2024). Esses resultados corroboram com esse estudo, que apontaram variações de temperatura entre 4,5ºC e 8ºC ao comparar a área urbanizada com a borda e o interior da mata na estação chuvosa.

Yan et al. (2023) observaram que áreas verdes apresentam temperaturas mais baixas e níveis de umidade mais elevados em comparação às áreas urbanizadas. O estudo também revelou que, quando a temperatura ultrapassa 15,1ºC ocorre um aumento da umidificação. Essa elevação da umidade desempenha um papel fundamental na regulação climática e o bem-estar humano, reforçando a importância de áreas verdes nos ambientes urbanos.

De acordo com o estudo realizado em Roma em três áreas (floresta periurbana, floresta urbana e árvores de rua) em um transecto rural-urbano, foi observado um aumento progressivo da temperatura com uma variação de 26 a 32ºC na floresta periurbana e 36 a 45ºC nas áreas urbanizada. Essa flutuação que ocorreu no verão, demonstra a importância de áreas verdes em mitigar altas temperaturas (Marando *et al.*, 2019).

Estudos indicaram que a mudança no uso e ocupação do solo em áreas urbanizadas é a principal causa das variações de temperatura e umidade. Áreas urbanas centrais com um alto nível de urbanização e com pouco espaço para uma vegetação extensa resultam em um forte efeito de ilhas de calor (Wu *et al.*, 2024b; Zhang; Sun, 2019).

As ilhas de calor têm se intensificado devido aos impactos do aquecimento global e ao crescimento das cidades. A rápida urbanização, associada as mudanças no uso e ocupação do solo, resulta em áreas impermeáveis que, juntamente com as atividades humanas, agravam significativamente esse problema. Como consequências, surgem questões que afetam diretamente a vida em vários aspectos, incluindo a saúde humana e o bem-estar da população. Esse fenômeno das ilhas de

calor está ocorrendo com mais frequência em escala global (Wang *et al.*, 2018; Zinzi *et al.*, 2020).

No presente estudo foi observada uma diferença entre a borda da mata e área urbana. Na borda, as médias da umidade relativa do ar foram aproximadamente 60% na estação chuvosa e 40% na seca, demostrando a boa capacidade de retenção de umidade. Em comparação, a área urbana apresentou valores médios de cerca de 40% na estação chuvosa e 30% na estação seca. Reforçando a importância das áreas verdes na manutenção da umidade relativa do ar. O interior da mata manteve sempre níveis mais altos de umidade, enquanto a borda atuou como uma zona de transição, ainda oferecendo um conforto ambiental superior da área urbana.

Para He et al., (2019) as áreas urbanizadas com edifícios comerciais e residenciais, casas, ruas pavimentadas sofrem efeitos mais severos de temperaturas e umidades, resultante de uma absorção da radiação solar e na redução do calor latente. Nardino; Laruccia, (2019). As ilhas de calor urbanas ocorrem altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, esse fenômeno ocorre devido principalmente ao armazenamento de radiação solar e à redução da evapotranspiração em áreas urbanizadas do que em áreas verdes.

A Figura 12 apresenta o boxplot da temperatura do solo e umidade do solo nos períodos diurno e noturno, nas estações chuvosa e seca nas áreas estudadas. A temperatura do solo foi menor no interior da mata em ambas as estações (chuvosa e seca) com médias de 24,5ºC e 22ºC respectivamente, apresentou baixa variabilidade dos dados e valores mais estáveis devido a cobertura vegetal.

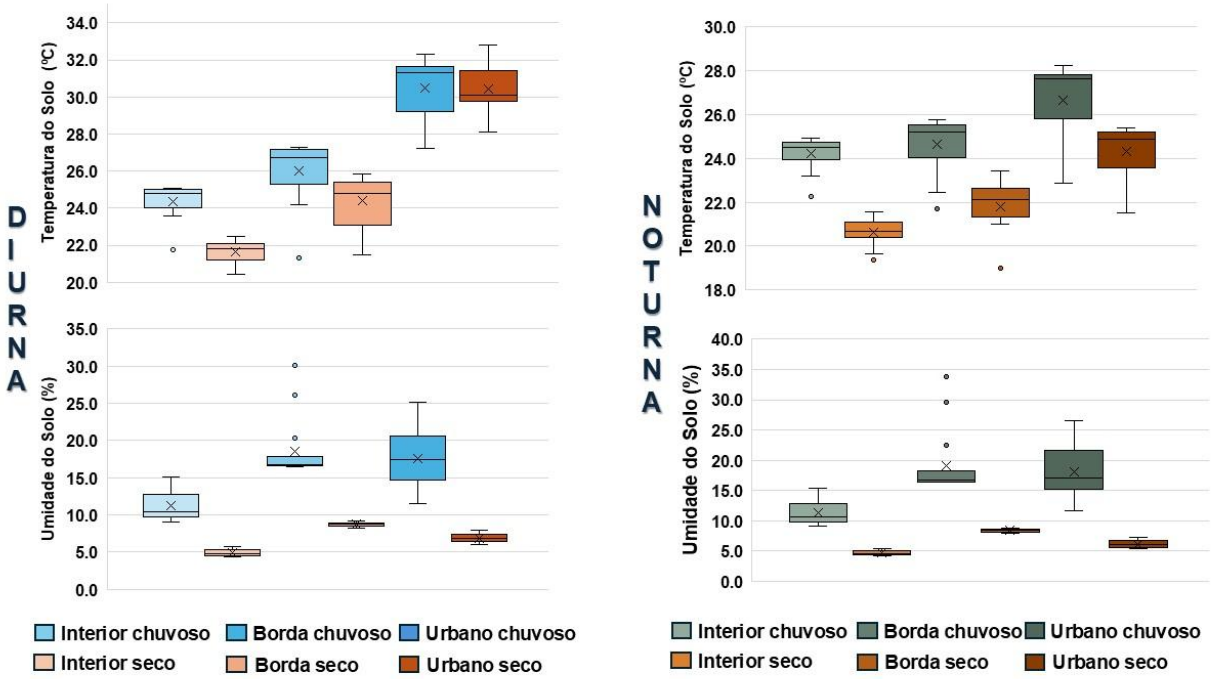
Na borda as temperaturas foram intermediárias entre o interior da mata e a área urbana, com média de 26ºC e 24ºC nas estações chuvosa e seca respectivamente. A borda apresentou temperaturas mais altas que o interior, indicando uma redução na cobertura vegetal.

Já a área urbana na estação chuvosa a média ficou em torno de 30ºC e uma variação de 24ºC a 33ºC, provavelmente influenciado pelo impacto da urbanização. Na estação seca os valores foram semelhantes ao da estação chuvosa, mas uma vez indicando o impacto que a urbanização produz na temperatura do solo.

Em relação ao período noturno, o interior da mata na estação chuvosa, apresentou temperatura mais baixas e média próxima a 24ºC e com baixa dispersão, o que demonstrou temperaturas estáveis refletindo o efeito de áreas verdes em

manter a temperatura devido a maior retenção de umidade, o mesmo pode ser observado na estação seca no interior da mata, com uma média em torno de 21ºC.

Figura 12 - Boxplot da distribuição da temperatura e da umidade do solo diurna e noturna em diferentes áreas (interior, borda e urbana) nas estações chuvosa e seca



A borda na estação chuvosa e seca apresentou uma média em torno de 25ºC e 22ºC respectivamente, com maior dispersão dos dados em ambas as estações, possivelmente por ter o solo mais exposto e que resfriam rapidamente à noite.

A área urbana na estação chuvosa apresentou temperaturas altas, com médias próximas de 27ºC, sugerindo forte influência de superfícies impermeáveis, que armazenam calor durante o dia e o liberam lentamente a noite. Já na estação seca os valores também são maiores em torno de 25ºC se comparados com as outras áreas.

Para Bush et al., (2021) e Morakinyo et al., (2018) a vegetação contribui de forma bem significativa para a regulação climática por exemplo, as copas das árvores oferecem sombra e promovem a evapotranspiração ajudando na diminuição da temperatura urbana. Já a vegetação rasteira contribui apenas com a evapotranspiração.

A evapotranspiração produzida pelas árvores, transforma o calor sensível em calor latente, desempenhando um papel crucial ao fornecer o serviço de regulação climáticas para as áreas urbanas. A ausência de áreas arborizadas resulta no

agravamento das consequências ambientais e sociais, como exemplo o aumento das ilhas de calor (Moss *et al.*, 2019).

As áreas verdes diminuem a temperatura ambiente de duas maneiras. A primeira é através da fração de água existente no solo, que ao ser aquecida transforma a fração liquida em vapor, como a mudança do estado da água de liquida para vapor requer energia esse processo converte o calor sensível em calor latente e consequente diminuição da temperatura ao redor. O mesmo processo acontece nos estômatos das plantas ao transformar a água em vapor para protegê-las do calor extremo e ao mesmo tempo esse vapor diminui a temperatura ao redor (Zimmermann *et al.*, 2024).

A Figura 12 também apresenta os gráficos da umidade do solo no período diurno e noturno nas estações chuvosa e seca. O período diurno, o interior apresentou valores médios de umidade em torno de 12% e uma variabilidade moderada na estação chuvosa. O interior na estação seca registrou valor médio de aproximadamente 5% e uma baixa variabilidade se comparada na estação chuvosa.

A borda na estação chuvosa apresentou uma umidade de aproximadamente 16% e na estação seca ficou em trono de 8%, a variabilidade dos dados na estação chuvosa foi mais elevada que a estação seca.

A área urbana apresentou uma umidade do solo em média de 17% e 7% nas estações chuvosa e seca respectivamente. A área urbana na estação chuvosa apresentou uma maior variabilidade de dados se comparada a estação seca.

No período noturno, o interior na estação na estação chuvosa apresentou valores semelhantes ao período diurno com média em torno de 12% na estação chuvosa e 5% na estação seca e pouca variabilidade dos dados.

A borda chuvosa apresentou valores em torno de 16%, na estação seca este valor caiu para 5%. A área urbana na estação chuvosa mostrou valores em torno de 17% e uma alta variabilidade de dados e na estação seca este valor ficou em média de 7%.

As cidades sofrem com o efeito de ilha de calor urbana que acaba sendo amplificada pelos materiais de construção como o asfalto e concreto, aumentando assim as áreas impermeáveis. Como resultado, a temperatura das cidades pode aumentar vários graus, até 12ºC em alguns casos se comparado com áreas verdes próximas. Esse processo de aumento das ilhas de calor de relação com as mudanças

climáticas, áreas onde o calor latente diminui devido a perda de vegetação, o calor sensível aumenta, levando a piora das condições de temperatura e umidade do ar (Bartesaghi-Koc; Osmond; Peters, 2022; Raihan, 2024).

Em estudo realizado por Wong; Yu (2005) em Cingapura indicou que áreas verdes apresentam temperaturas mais baixas com média de 24,3ºC se comparadas a áreas mais urbanizadas com médias de 28,31ºC, mostrando que as áreas verdes ajudam a reduzir o efeito das ilhas de calor nas cidades.

White; Silva, (2018) estudando fragmentos florestais de mata atlântica em São Cristovão – SE, observou que as áreas que estavam localizada em áreas fechadas tiverem um média da temperatura do ar e solo menores que áreas de clareira. Já para a umidade relativa as melhores áreas foram também nas áreas fechadas onde a umidade foi mais elevada em comparação com as áreas de clareiras, comprovando o efeito que vegetação exerce para amenizar as altas temperaturas.

Khan; Li, (2024) em seu estudo sobre os efeitos dos espaços verdes no resfriamento da superfície terrestre nas metrópoles como Beijing (China) e Islamabad (Paquistão) observaram que, em Pequim as áreas verdes reduziram a temperatura em aproximadamente 5ºC em comparação a áreas urbanas. Em Islamabad, essa diferença foi ainda maior, alcançando 7ºC. Esses resultados corroboram os dados obtidos neste estudo, que apontaram uma diferença de 8,12ºC entre as temperaturas das áreas do interior da mata e da área urbana.

Para Gotardo et al., (2019) ao compararem a temperatura do solo na Mata Atlântica com um local aberto observou-se uma redução de 2,57ºC na T_{solo} na área da mata, essa redução ocorreu devido ao interior da mata receber menos radiação solar retida pelo dossel das árvores.

Em estudo realizado em áreas próximas a Mata de Dois Irmãos, em Recife/PE. Arruda, (2010) observou que a temperatura foi mais baixa em áreas internas da mata, devido ao alto índice de sombreamento proporcionado pela vegetação densa. Essa redução também ocorreu com temperatura do solo, em áreas mais expostas as temperaturas tendem a ser mais elevadas devido à maior urbanização, corroborando com os resultados obtidos neste estudo. No entanto, quando o solo se torna mais seco, o efeito de resfriamento começas a diminuir, uma vez que a evapotranspiração é reduzida devido a menor disponibilidade de água. Áreas com um dossel maior tendem a reduzir a radiação solar de forma mais eficaz do que áreas expostas, o que

resulta em menores flutuações da umidade do solo (Freitas; Dantas; Santos, 2023; Greiser *et al.*, 2024).

As florestas normalmente sofrem com o estresse hídrico, afetando a absorção de carbono. Em outras palavras, a falta de água, provoca uma queda da fotossíntese, pois a seca limita a evaporação, reduzindo o resfriamento e aumentando a temperatura. Esse ciclo entre a umidade do solo e a atmosfera agrava a situação, fechando os estômatos das plantas e diminuindo ainda mais a fotossíntese. Em períodos quentes e secos, o risco de incêndios aumenta, além de ocorrer a perda de folhas e a morte de árvores, comprometendo ainda mais a capacidade das florestas de atuarem como sumidouros de carbono (Green *et al.*, 2019).

O solo é uma camada fundamental do ecossistema terrestre interagindo constantemente com a atmosfera, de onde recebe umidade e realiza uma troca contínua de gases. No entanto, o aumento de eventos climáticos extremos tem comprometido a estabilidade do solo, afetando sua capacidade de mitigar esses eventos, bem como de manter sua produtividade e biodiversidade. Entre as funções mais afetadas estão a capacidade de reter umidade, realizar evapotranspiração e armazenar carbono. A redução da umidade do solo pode desencadear o processo de mineralização, resultando na perda de humus, a substância responsável por preservar as reservas de umidade do solo. Esse desequilíbrio pode levar ao processo de desertificação, agravando ainda mais os problemas ambientais (Rubio *et al.*, 2024).

Áreas verdes diminuem a temperatura nas regiões urbanas, modificam a circulação atmosférica e mitigam o efeito de ilha de calor por meio da transpiração, evaporação e absorção da energia solar (Liu, Hongqing *et al.*, 2021).

Para Abdalla; Sanches; Andrade, (2023) a temperatura do ar está fortemente ligada a temperatura do solo, e essa relação pode ser influenciada por vários fatores como a estrutura do dossel e variáveis meteorológicas.

Em relação a contribuição dos parâmetros utilizados na regulação do microclima local, a Figura 13 apresenta a análise de componentes principais das áreas estudadas. Pode-se verificar que os componentes PC1 contribuíram com 48,33% da variância e PC2 com 42,04%. Juntos demostram 90,39% da variância total dos dados, isso sugere que esses dois componentes capturam a maioria das variações nos dados e todos estão representados para a estação chuvosa. Percebe-se que para a umidade relativa (PC 1) e a temperatura do ar (PC 2) foram os componentes que mais tiveram pesos para a análise de PCA, conforme demostrado na Tabela 4.

Ainda sobre a Figura 13 observou-se a formação de dois grupos distintos, um em tons azuis para a estação chuvosa e outro em tons marrons para a estação seca. Durante a estação chuvosa dois grupos foram agrupados interior da mata e borda da mata sugerindo que estas áreas compartilham características comuns na período chuvoso, já a área urbana está em um quadrante diferentes, o que sugere que possui características distintas em relação áreas de mata.

Figura 13 - Análise de Componentes Principais (PCA) estações chuvosas e seca no período matutino.

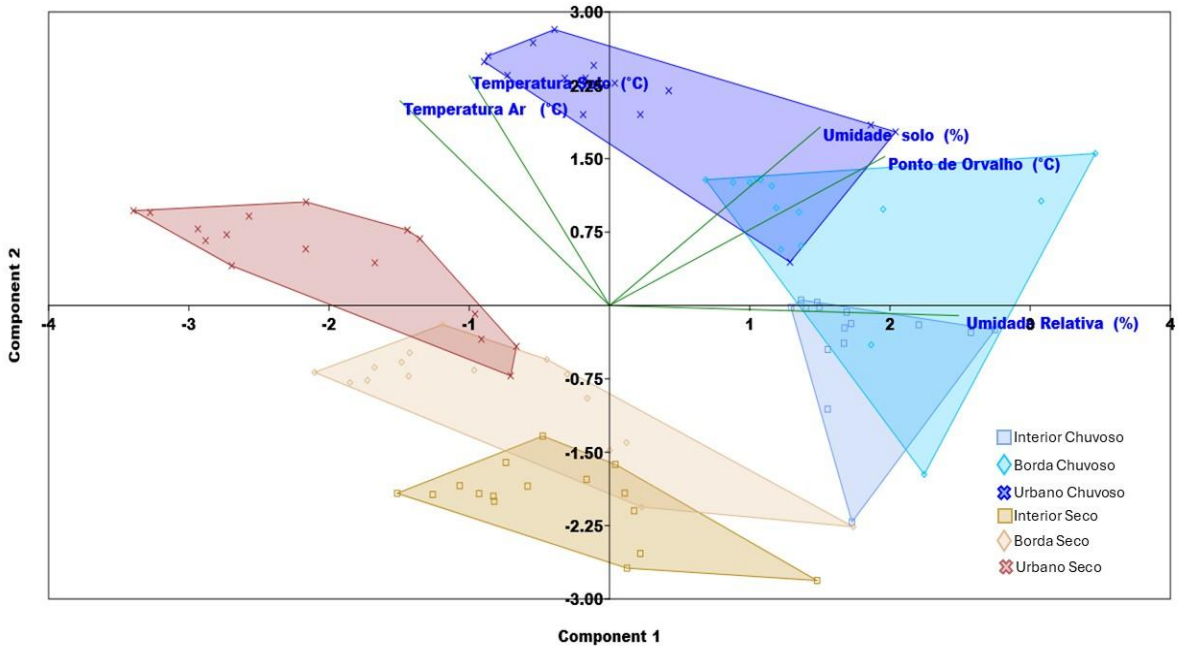


Tabela 4 - Para cada componente principal a variável mais significativa no período matutino.

Variável	PC 1	PC 2
Temperatura do ar (ºC)	-0,37865	0,53015
Umidade relativa ar (%)	0,63164	-0,02632
Ponto de orvalho (ºC)	0,49809	0,38325
Umidade solo (%)	0,38103	0,46243
Temperatura solo (ºC)	-0,25373	0,596

A seta que representa a umidade relativa exerce grande influência na estação chuvosa, especialmente no interior e borda da mata. Já seta que indica a temperatura do ar tem influência tanto na estação chuvosa como na seca, principalmente na área urbana com temperaturas mais elevadas em ambas as estações.

Na estação seca, as áreas formaram um grupo a parte com características distintas em relação a estação chuvosa. Novamente a área urbana ocupou um

quadrante diferentes das outras áreas do interior e borda, indicando características bem distintas.

Corroborando os resultados observados no presente estudo, Grilo et al. (2020) observaram que as variáveis climáticas que aprestaram contribuições significativas para mitigar as ilhas de calor foram a temperatura do ar e a umidade relativa do ar no período de verão (estação chuvosa), conforme mostra a análise de PCA realizada neste estudo com uma contribuição de 48,3% para a umidade relativa e 42,04% para a temperatura.

A Figura 14 representa o gráfico de (PCA) dos dados climáticos das três áreas estudadas. A análise considera os dois componentes principias (PC1 e PC2), representando respectivamente 60,89% e 27,18% os dois juntos demostram 88,07% de toda a variância total. A Tabela 5 apresenta qual variável contribuiu mais para a análise dos componentes principais, o ponto de orvalho foi a variável com maior peso para o PC1 e a temperatura do ar para o PC2.

Figura 14 - Análise de Componentes Principais (PCA) estações chuvosas e seca no período noturno.

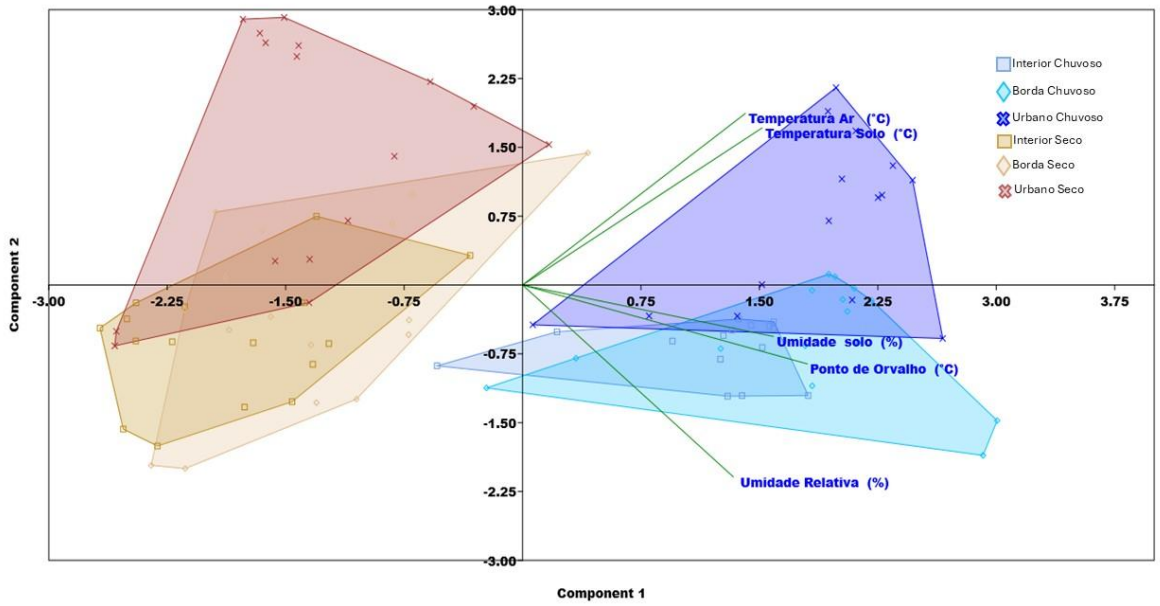


Tabela 5 - Para cada componente principal a variável mais significativa no período noturno.

Variável	PC 1	PC 2
Temperatura do ar (ºC)	0,40973	0,54296
Umidade relativa ar (%)	0,38786	-0,60748
Ponto de orvalho (ºC)	0,524	-0,24971
Umidade solo (%)	0,46154	-0,16273
Temperatura solo (ºC)	0,44057	0,49732

Também foi observado por Grilo et al., (2020) que as áreas do dossel além de diminuir a temperatura e aumentar a umidade relativa do ar, possuem uma abrangência de aproximadamente 60 metros em torno dos sensores, sugerindo, assim, uma zona de influência dessa área verde. Diversos estudos reforçam a importância de áreas verdes para a redução da temperatura e o aumento da umidade terrestre, ratificam os dados que foram obtidos nesse estudo (Molina-Gómez *et al.*, 2022; Mondal; Guha; Kundu, 2021; Senevirathna *et al.*, 2024).

De acordo com Best et al., (2023) locais com maior e mais diversificada cobertura vegetal demostram níveis mais elevados de umidade relativa ao longo do dia, além de reduções consideráveis de temperatura. Por outro lado, áreas urbanizadas geralmente apresentam pouca ou nenhuma variação na temperatura.

A Figura 15 apresenta a análise multidimensional não métrica (NMDS), com um valor de stress de 0,06146, indicando uma excelente dissimilaridade entre as áreas. A análise de variância multivariada (MANOVA) com o teste de Lambda Wilks revelou um valor de 0,00127 indicando uma alta separação entre as áreas.

O valor de F observado (F=62,22) é elevado o que rejeita a hipótese nula de que as médias entre os grupos são iguais. Além disso o p-valor de 3.733E-105 (Tabela 6) muito inferior ao nível de significância convencional de 0,05, reforça a existência de diferenças significativas entre as áreas.

O gráfico NMDS apresentado na Figura 15 foi elaborado para avaliar a similaridade entre as áreas com base na distância entre os pontos. Isso significa que pontos próximos indicam semelhanças entre as áreas, enquanto pontos distantes diferenças. No período chuvoso, as áreas interior e borda apresentaram características semelhantes, evidenciadas pelo agrupamento de seus pontos e pela sobreposição entre elas. Em contraste, a área urbana apresentou-se bem distante, indicando características distintas em relação as demais.

Ribeiro et al., (2024) afirmam que, apesar de as florestas, principalmente a Mata Atlântica, estarem altamente fragmentadas, a vegetação ainda exerce um papel fundamental no controle das mudanças climáticas, atuando como dispersor natural de calor. De maneira geral, áreas verdes principalmente aquelas com uma cobertura densa de árvores e solo natural, tem temperatura diurnas e noturnas mais baixas em função da ausência de zonas urbanizadas. Esse fenômeno acontece em função da baixa absorção de calor características dessas áreas verdes (Ferreira; Duarte, 2019).

Figura 15 - Análise multidimensional não métrica (NMDS) e teste de similaridade MANOVA no período matutino.

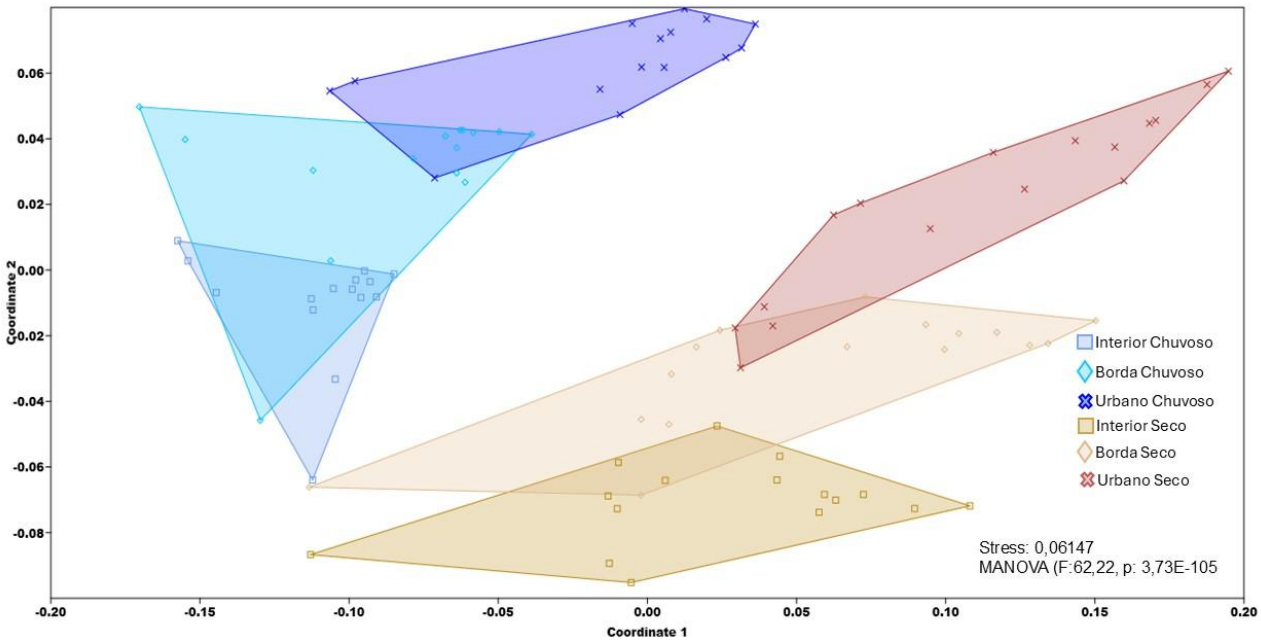


Tabela 6 - Teste MANOVA com índice de lambda Wilks para o período matutino.

Wilks´ lambda:	0,00127
F:	62,22
p (same):	3,73E-105

Ainda sobre o cluster da Figura 15 dentro dos grupos por exemplo interior chuvoso ocorre uma coesão entre os dados indicando alta similaridade entre as amostras. Pontos onde diferentes categorias se encontram, por exemplo interior e borda na estação seca pode indicar que é uma área de transição entre os grupos ou apresentam características semelhantes.

Observou-se na Figura 15 que o grupo da estação chuvosa apresentou características semelhantes ao grupo interior da estação seca. Essa similaridade foi indicada pela proximidade entres os grupos, sugerindo que, na estação seca, o grupo interior compartilhou características semelhantes ao grupo urbano estação chuvosa.

Para Zhao et al., (2023) a composição de áreas verdes tem um grande impacto na temperatura do ar e na umidade relativa do ar em áreas urbanas, independente da estação do ano e que áreas verdes maiores, mais agregadas e com maior cobertura vegetal proporcionam uma maior manutenção de temperaturas mais baixas e umidades mais elevadas e esse efeito não foi somente pontuas, se estende entre 200

a 300 metros de distância, mostrando a importância de áreas verdes na composição da paisagem urbana e no conforto da população.

A Figura 16 apresenta o gráfico de NMDS do período noturno. O Stress com valor de 0,07358 indica que a análise é muito confiável para representar as distâncias originais entre os pontos. O índice de Wilks' Lambda com um valor muito baixo de 0,01127 demostras diferenças significativa entre os grupos, o valor de F (29,06) rejeita a hipótese de que a média entre as áreas analisadas e os períodos sejam iguais, isso também é confirmado pelo p-value de 1,78E-66 que confirma a diferenças entres as áreas e o período.

Figura 16 - Análise multidimensional não métrica (NMDS) e teste de similaridade MANOVA no período noturno.

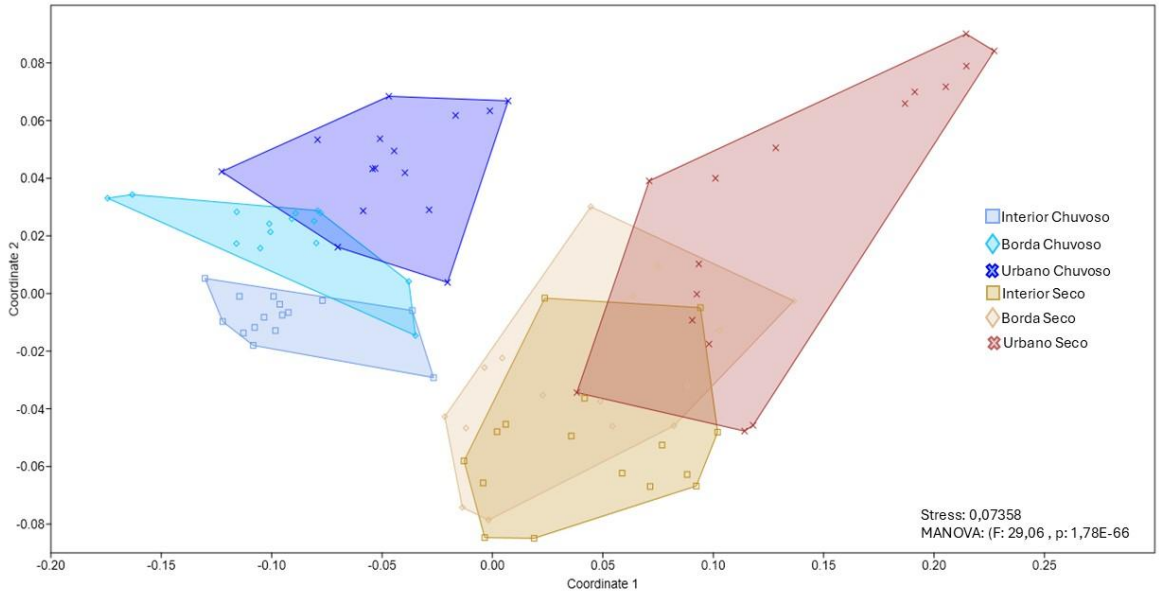


Tabela 7 - Teste MANOVA com índice de lambda Wilks para o período noturno.

Wilks´ lambda:	0,01127
F:	29,06
p (same):	1,78E-66

Analisando a intensidade de ilhas de calor durante o mês mais quente de 2019 (abril) em Xalapa (México) uma cidade neotropical Lemoine-Rodríguez et al., (2022) destaca que áreas verdes com mínimo de 2 ha, tem a capacidade de redução de cerca de 2ºC, observou-se também que esta área verde combinada com a presença de cobertura arbórea ao redor em um raio 50 metros ajudam a maximizar o efeito de resfriamento proporcionado pelas áreas verdes. Outra observação feita por Lemoine-Rodríguez et al., (2022) foi que áreas verdes combinadas com a cobertura arbórea ao

redor com mais de 21% tiveram a menor temperatura (33ºC) e áreas com uma menor porcentagem chegaram a uma temperatura de 36ºC.

A Figura 17 apresenta o cluster do período matutino baseado em similaridade entre as amostras e calculado pelo método de Bray-Curtis. As diferentes cores indicam categorias distintas, os tons em azul representam dados na estação chuvosa e os tons marrons representam dados da estação seca. Para identificar os principais clusters, passando uma linha imaginária entre a altura de 15 a 20 unidades de distância, pode-se ver a formação de grupos, a direita da figura os grupos interior e borda estação chuvosa, no centro a formação dos grupos da estação seca (interior, borda e urbano) e a esquerda o grupo urbano na estação chuvosa.

A Figura 18 representa o cluster do período noturno, observa-se um agrupamento geral entre as amostras de períodos, indicando uma similaridade entre os períodos chuvoso e seco. De modo geral as amostras do período chuvoso formaram grupos mais próximos entre si, demostrando similaridades dentro desse grupo. O mesmo ocorre com as amostras do período seco. O Período chuvoso apresenta uma maior coesão entre as áreas, já o período seco ocorre uma dispersão no agrupamento entre as áreas.

Figura 17 - Análise de agrupamento (Bray-Curtis) período chuvoso (cores azuis) e período seco (cores marrons) no período matutino.

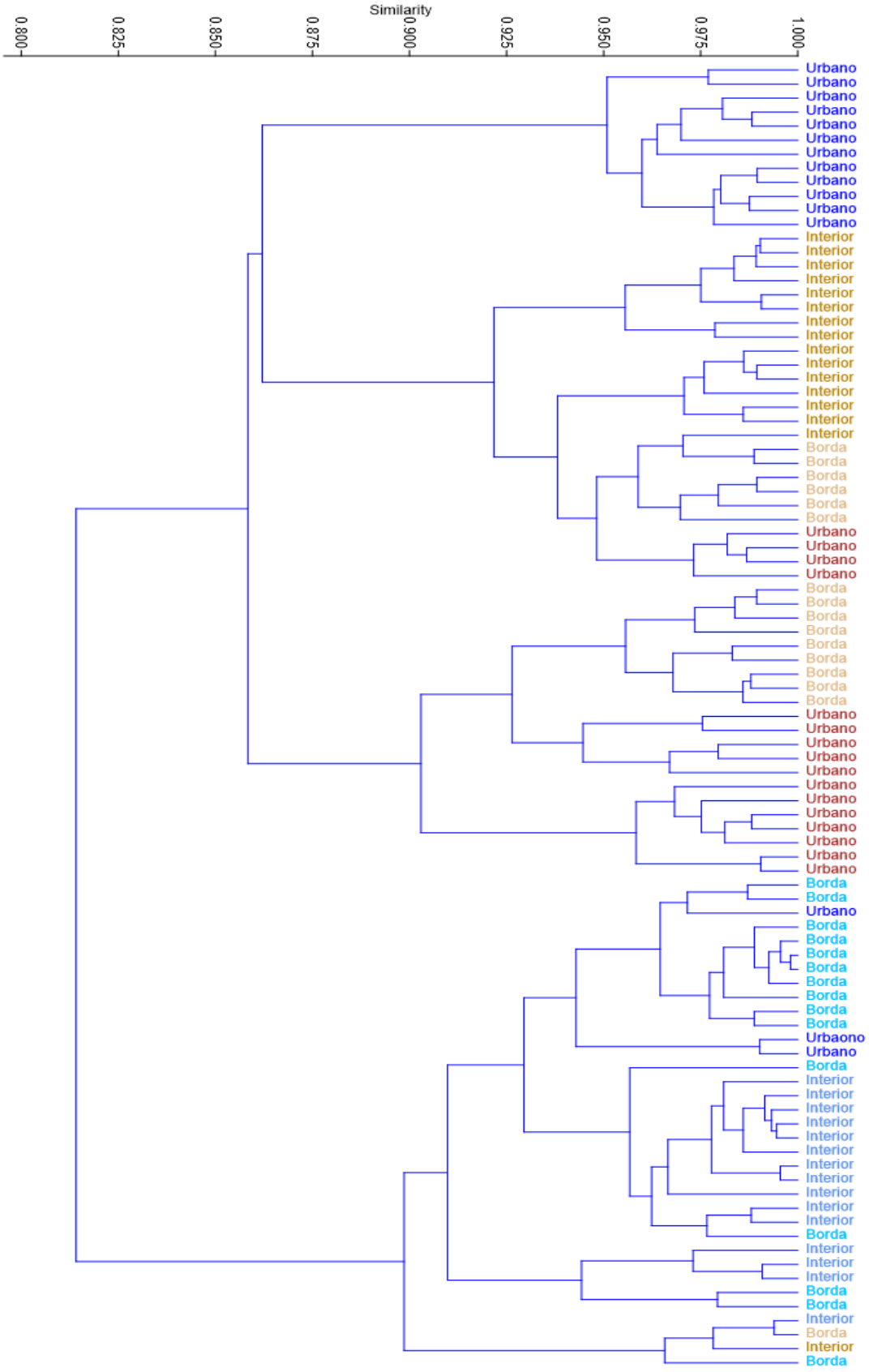
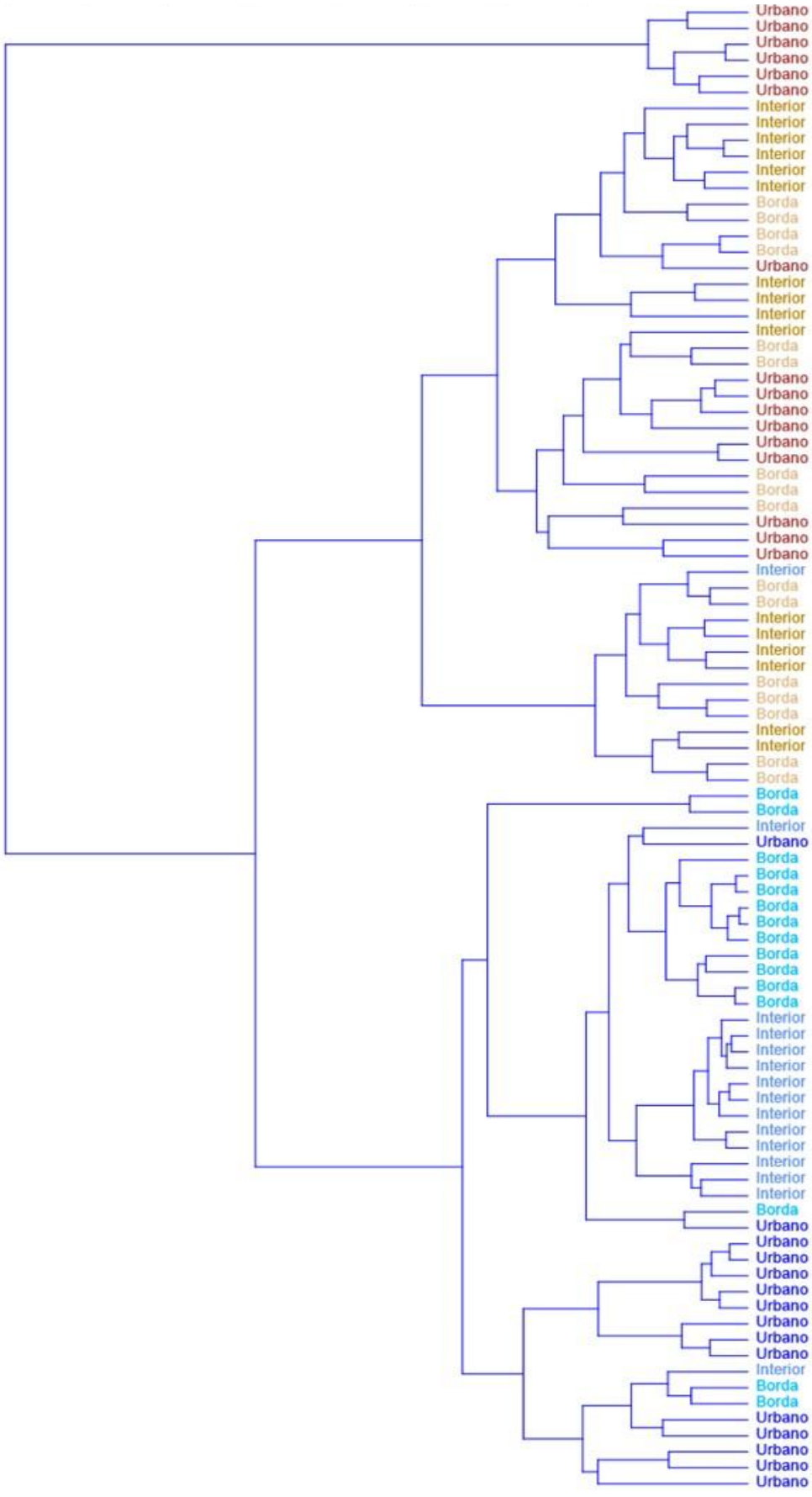


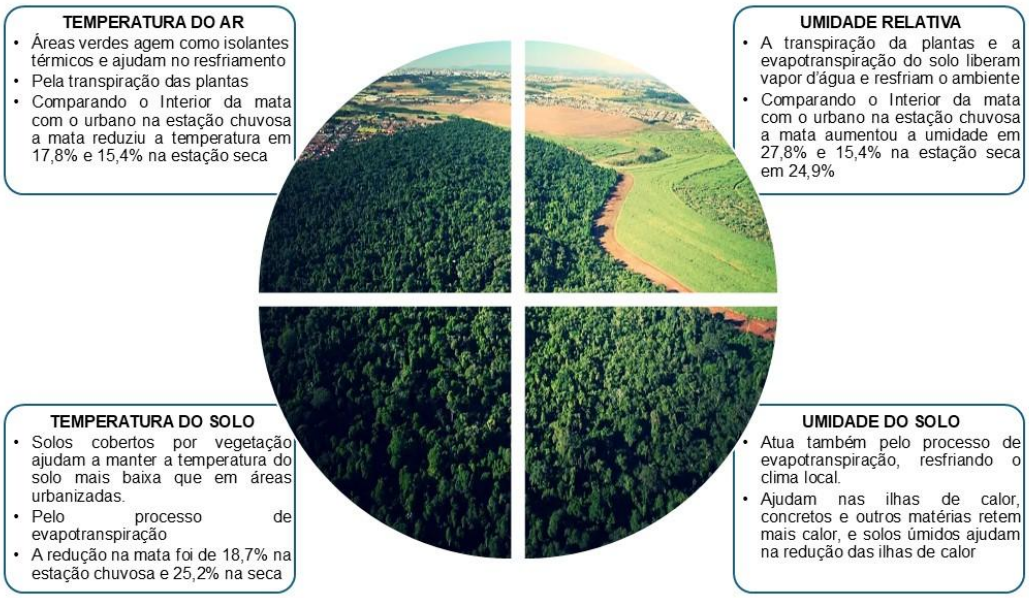
Figura 18 - Análise de agrupamento (Bray-Curtis) período chuvoso (cores azuis) e período seco (cores marrons) no período noturno.



A vegetação desempenha um papel essencial na retenção de umidade do solo, evidenciando que a preservação e o reflorestamento sã estratégias ideais para manter essa umidade. Além disso, essas práticas contribuem para o resfriamento de regiões terrestres em escala global. Por outro lado, a umidade do solo é um fator crítico para a saúde da vegetação, criando um ciclo de retroalimentação: as plantas regulam o consumo de água por meio da evapotranspiração, processo, que, por sua vez, mantem ou aumenta a disponibilidade de umidade no solo (Zhang *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2022; Zuo *et al.*, 2024b).

Zuo et al., (2024b) realizaram estudos com simulações em modelos climáticos para o período de 2020-2059 e demonstraram que a manutenção dos níveis atuais de umidade do solo combinado com a redução das emissões de GEE, pode mitigar os efeitos do aquecimento global. Além disso, essa estratégia proporcionaria um prazo adicional de quase uma década para atingir o limite estabelecido pelo acordo de Paris, que visa manter o aumento da temperatura global abaixo de 1,5ºC.

Figura 19 - Síntese das relações entre o serviço de regulação climáticas e parâmetros de qualidade ambiental observados na Mata de Santa Genebra



Na Figura 19 foi apresentado, a partir dos resultados obtidos no presente trabalho, um resumo de como as áreas verdes contribuem de forma significativa para a regulação climática, agindo principalmente na temperatura e umidade do ar. As áreas verdes agem como um isolante térmico e no controle da umidade do ar,

promovendo o resfriamento do ambiente por meio de processos como a evapotranspiração. Ao comparar áreas verdes com zonas urbanizadas, observou-se uma redução da temperatura e um aumento da umidade tanto do ar como do solo nas áreas verdes, o que contribui para uma regulação climática da região.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos presente trabalho pode-se concluir que:

- ✓ A temperatura na área urbana foi 26,75% maior na estação chuvosa quando comparada com o interior da mata e 15,12% quando comparada a borda da mata. Na estação seca essa porcentagem é de 21,3% na área urbana que no interior e 11,08% quando comparada com a borda.
- ✓ A umidade relativa do ar na área urbana foi 38,1% menor na estação chuvosa quando comparada com o interior da mata e 25,3% quando comparada com a borda da mata. Para estação seca a área urbana tem a umidade relativa é 24,5% comparada com a borda e 38,67% menor quando comparada com o interior da borda.
- ✓ A temperatura do solo na área urbana foi 28,83% maior que a do interior da mata, e em relação a borda a temperatura do solo é 16,39% mais elevada na área urbana, considerando a estação chuvosa. Para a estação seca essas porcentagens ficam em 46,16% maior na área urbana comparada ao interior da mata e 27,07% quando comparada com a borda da mata.
- ✓ O estudo apresentado reforçou a importância das áreas verdes na regulação climática e no bem-estar das cidades. Os resultados apresentados demonstram que áreas com maior cobertura vegetal reduzem significamente a temperatura local e aumentam a umidade relativa do ar através do processo de evapotranspiração em comparação com áreas mais urbanizadas que apresentam maiores amplitudes nas variáveis ambientais analisadas;
- ✓ Os dados reforçam a importância do serviço ecossistêmico de regulação climática oferecido pela Mata de Santa Genebra. Processos como o sombreamento a evapotranspiração desempenham um papel significativo na mitigação dos efeitos das ilhas de calor e na manutenção da estabilidade da umidade do solo;
- ✓ Além do controle direto na regulação do clima, as áreas verdes melhoram a qualidade de vida da população em geral, contribuindo para um ambiente mais saudável e contribui para cidades mais resilientes e sustentáveis e essa contribuição deve também ser analisada para a área em estudo;
- ✓ Este conhecimento sobre a importância de áreas verdes na regulação climática é vital para a formulação de políticas públicas urbanas em forcar na

preservação e reflorestamento de espaços verdes, promovendo um desenvolvimento sustentável.

LITERATURA CITADA

ABDALLA, Bruno Santos; SANCHES, Luciana; ANDRADE, Nara Luísa Reis de. Análise do perfil vertical da temperatura do ar e do solo utilizando componentes principais e geoestatística em floresta no Sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 16, n. 6, p. 3560–3571, 2023.

ABNT 14001. **Sistema de Gestão Ambiental - Requisitos com orientação de uso**. Rio de Janeiro - RJ: [*s. n.*], 2015.

ABNT 14031. **Gestão Ambiental - Avaliação de Desempenho Ambiental - Diretrizes**. Rio de Janeiro - RJ: [*s. n.*], 2015.

ABREU, João Paulo Maciel de; MARCHIORI, Fernanda Fernandes. Aprimoramentos sugeridos à ISO 37120 “Cidades e comunidades sustentáveis” advindos do conceito de cidades inteligentes. **Ambiente Construído**, [*s. l.*], v. 20, n. 3, p. 527–539, 2020.

ALLAM, Zaheer *et al.* The Theoretical, Practical, and Technological Foundations of the 15-Minute City Model: Proximity and Its Environmental, Social and Economic Benefits for Sustainability. **Energies**, [*s. l.*], v. 15, n. 16, p. 6042, 2022.

ALMEIDA, Elton Kleiton Albuquerque de. AVISO METEOROLÓGICO E GEOINFORMAÇÃO COM ÊNFASE À DEFESA CIVIL. **GEOGRAFIA**, [*s. l.*], v. 43, n. 2, p. 338–350, 2019.

ALVES, Allyf Kumakura *et al.* Avaliação do Conforto Urbano Sob a Influência da Vegetação na Cidade de Cuiabá - MT. **E&S Engineering and Science**, [*s. l.*], v. 6, n. 1, p. 106–121, 2017.

AQUINO, F. de G. *et al.* **Panorama sobre os Serviços Ecossistêmicos Prestados em Zonas Ripárias do Cerrado**: Documentos 365. Planaltina - DF: [*s. n.*], 2020.

AROWOLO, Aisha Olushola *et al.* Assessing changes in the value of ecosystem services in response to land-use/land-cover dynamics in Nigeria. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 636, p. 597–609, 2018.

ARROYAVE MAYA, María Del Pilar *et al.* Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. **Colombia forestal**, [*s. l.*], v. 22, n. 1, p. 5–16, 2018.

ARRUDA, K.E.C. Estudo da Amenidade Térmica Proporcionada pela Reserva Ecológica de Dois Irmãos, Recife - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 3, p. 196–203, 2010. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/232665/26678. Acesso em: 15 out. 2024.

ARTAXO, Paulo. Mudanças climáticas: caminhos para o Brasil: a construção de uma sociedade minimamente sustentável requer esforços da sociedade com colaboração entre a ciência e os formuladores de políticas públicas. **Ciência e Cultura**, [*s. l.*], v. 74, n. 4, 2022.

BACHENDORF, CASSIANA FERREIRA, SANTOS, GILSON DIRZEL, PEZARICO, GIOVANNA, MARINI, MARCOS JUNIOR. CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS: UMA ANÁLISE SOB A PERSPECTIVA DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE PATO BRANCO - PR. **Igepec**, [*s. l.*], v. 23, n. 1, p. 29–50, 2019.

BARTESAGHI-KOC, Carlos; OSMOND, Paul; PETERS, Alan. Innovative use of spatial regression models to predict the effects of green infrastructure on land surface temperatures. **Energy and Buildings**, [*s. l.*], v. 254, p. 111564, 2022.

BATISTA, Daniela Biondi *et al.* Aporte de serapilheira e teor de carbono orgânico em um fragmento florestal urbano. **Nature and Conservation**, [*s. l.*], v. 13, n. 4, p. 22–30, 2020.

BEILLOUIN, Damien *et al.* Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. **Global Change Biology**, [*s. l.*], v. 27, n. 19, p. 4697–4710, 2021.

BERGLIHN, Elisabeth Cornelia; GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik. Ecosystem services from urban forests: The case of Oslomarka, Norway. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 51, p. 101358, 2021.

BEST, L. *et al.* Urban green spaces and variation in cooling in the humid tropics: The case of Paramaribo. **Urban Forestry & Urban Greening**, [*s. l.*], v. 89, p. 128111, 2023.

BODNAR, Zenildo; PRIESS, Alexandre Dos Santos; BIANCHI, Patrícia Nunes Lima. A sustentabilidade por meio do planejamento urbano. **Revista Brasileira de Direito**, [*s. l.*], v. 15, n. 3, p. 38, 2019.

BOLLETTINO, Vincenzo *et al.* Public perception of climate change and disaster preparedness: Evidence from the Philippines. **Climate Risk Management**, [*s. l.*], v. 30, p. 100250, 2020.

BRASIL. **LEI Nº 14.119, DE 13 DE JANEIRO DE 2021 - Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais**. Brasília - DF: [*s. n.*], 2021a.

BRASIL. **Plano de Manejo ARIE Mata de Santa Genebra**. Campinas: [*s. n.*], 2021b. Disponível em: https://www.fjposantagenebra.sp.gov.br/uploads/files/2021/pm/Plano_de_Manejo_8884948_arie_mata_de_santa_genebra_maio_2021.pdf. Acesso em: 25 fev. 2024.

BRASILEIRO, A.C.B. *et al.* PAGAMENTOS POR SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS: O CASO BRASILEIRO. **Revista de Ciências Sociais e Jurídicas**, [*s. l.*], v. V.2, n. n.1, p. 53–60, 2020.

BRATMAN, Gregory N. *et al.* Nature and mental health: An ecosystem service perspective. **Science Advances**, [*s. l.*], v. 5, n. 7, 2019.

BUSH, Judy *et al.* Integrating Green Infrastructure into Urban Planning: Developing Melbourne's Green Factor Tool. **Urban Planning**, [*s. l.*], v. 6, n. 1, p. 20–31, 2021.

CAMPINAS. **Plano Diretor Estratégico**. Brasil: Secretária de Planejamento e Desenvolvimento Urbano, 2017. Disponível em: https://planodiretor.campinas.sp.gov.br/timeline/timeline/41_nova_versao_caderno_subsidios_janeiro_17/Caderno_com_anexos.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.

CAMPINAS. **Prefeitura - Secretária de Planejamento e Desenvolvimento Urbano**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://portal.campinas.sp.gov.br/secretaria/planejamento-e-desenvolvimento-urbano/pagina/a-cidade. Acesso em: 25 fev. 2024.

CANIANI, Donatella *et al.* Habitat ecological integrity and environmental impact assessment of anthropic activities: A GIS-based fuzzy logic model for sites of high biodiversity conservation interest. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 67, p. 238–249, 2016.

CARVALHO, L.C.B. **ANOSIM, PERMANOVA e SIMPER**. [*S. l.*], 2022. Disponível em: https://rpubs.com/leocbc/permanova_anosim. Acesso em: 4 out. 2024.

COELHO, M.S.Z.S. **Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em função de condições meteorotrópicas na cidade de São Paulo**. 2007. 1–195 f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo - SP, 2007.

COMISSÂO EUROPEIA. A Importância de infraestruturas urbanas e verdes - Ano Europeu das Cidades mais Verde 2022. **Jornal Oficial da União Europeia**, [*s. l.*], 2021. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020IP0241&from=EN. Acesso em: 6 abr. 2023.

CORTESE, Tatiana Tucunduva Philippi *et al.* Tecnologias e sustentabilidade nas cidades. **Estudos Avançados**, [*s. l.*], v. 33, n. 97, p. 137–150, 2019.

COSTA, Marcia Maria Arco e Flexa Ferreira da; HARDAGH, Cláudia Coelho. Cidades inteligentes são cidades saudáveis? **Labor e Engenho**, [*s. l.*], v. 12, n. 4, p. 525–532, 2018.

COSTANZA, Robert. Valuing natural capital and ecosystem services toward the goals of efficiency, fairness, and sustainability. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 43, p. 101096, 2020.

CUSTÓDIO, Maraluce Maria; GARCÍA LÓPEZ, María Tania. PAGAMENTO POR SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA GUIANA FRANCESA. **Dom Helder Revista de Direito**, [*s. l.*], v. 3, n. 7, 2020.

DINIZ, Eliezer Martins. Os Resultados da Rio+10. **Revista do Departamento de Geografia**, [*s. l.*], v. 15, p. 31–35, 2002.

DOBBS, Cynnamon *et al.* Exploring temporal dynamics of urban ecosystem services in Latin America: The case of Bogota (Colombia) and Santiago (Chile). **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 85, p. 1068–1080, 2018.

DOTTO, Bruna; Silva, André de Souza. A vegetação como parâmetro de sustentabilidade ambiental em cidades. **Arq. Urb.**, [*s. l.*], v. 19, p. 64–77, 2017. Disponível em: https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/152/140. Acesso em: 15 abr. 2023.

ESPERON-RODRIGUEZ, Manuel *et al.* Using climate analogues and vulnerability metrics to inform urban tree species selection in a changing climate: The case for Canadian cities. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 228, p. 104578, 2022.

FARIA, Alvaro Boson de Castro. Monitoramento da temperatura atmosférica visando o conforto térmico e a conservação de florestas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [*s. l.*], v. 20, n. 1, p. 032–040, 2021.

FERRAZ, R.P.D. *et al.* Serviços ecossistêmicos: uma abordagem conceitual. *In*: FERRA, R.P.D. *et al.* (org.). **Marco Referencial em Serviços Ecossistêmicos**. Brasília - DF: Embrapa Solos, 2019. p. 1–124.

FERREIRA, Anderson Saccol. Cidades inteligentes e sustentáveis: análise e definições acerca da literatura. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [*s. l.*], v. 12, n. 6, p. 512–521, 2021.

FERREIRA, Luciana Schwandner; DUARTE, Denise Helena Silva. Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. **Urban Climate**, [*s. l.*], v. 27, p. 105–123, 2019.

FIALHO, Edson Soares; SANTOS, Larissa Galvão Fontes dos. A CLIMATOLOGIA URBANA E O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA CIDADE DE PEQUENO PORTE EM CLIMA TROPICAL DE ALTITUDE. **GEOGRAFIA**, [*s. l.*], v. 46, n. 1, p. 1–28, 2021.

FREITAS, J.L; DANTAS, L.G.F; SANTOS, J.S. A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS VERDES URBANAS NA AMENIZAÇÃO CLIMÁTICA: Estudo de caso no Parque Sólon

de Lucena em João Pessoa - PB. *In*: SANTOS, J.S.; GUTIERRES, H.E.P. (org.). **ÁREAS VERDES URBANAS E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS**. 1ªed. João Pessoa-PB: Editora UFPB, 2023. p. 1–195.

FREITAS, Vladimir Passos de; SILVA, Luciana Caetano da. Cidades inteligentes: a busca pela sustentabilidade e o impacto na privacidade. **Revista de Direito da Cidade**, [*s. l.*], v. 12, n. 1, 2020.

GASHAW, Temesgen *et al.* Estimating the impacts of land use/land cover changes on Ecosystem Service Values: The case of the Andassa watershed in the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 31, p. 219–228, 2018.

GEIJZENDORFFER, Ilse R. *et al.* Ecosystem services in global sustainability policies. **Environmental Science & Policy**, [*s. l.*], v. 74, p. 40–48, 2017.

GOTARDO, Rafael *et al.* Comparação entre variáveis microclimáticas de local aberto e florestal em um bioma da Mata Atlântica, sul do Brasil. **Ciência Florestal**, [*s. l.*], v. 29, n. 3, p. 1415–1427, 2019.

GREEN, Julia K. *et al.* Large influence of soil moisture on long-term terrestrial carbon uptake. **Nature**, [*s. l.*], v. 565, n. 7740, p. 476–479, 2019.

GREISER, Caroline *et al.* Higher soil moisture increases microclimate temperature buffering in temperate broadleaf forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, [*s. l.*], v. 345, p. 109828, 2024.

GRÊT-REGAMEY, Adrienne *et al.* Review of decision support tools to operationalize the ecosystem services concept. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 26, p. 306–315, 2017.

GRILO, Filipa *et al.* Using green to cool the grey: Modelling the cooling effect of green spaces with a high spatial resolution. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 724, p. 138182, 2020.

GUIMARÃES, Luciana Fernandes *et al.* O uso de infraestruturas verde e azul na revitalização urbana e na melhoria do manejo das águas pluviais. **Paisagem e Ambiente**, [*s. l.*], n. 42, p. 75–95, 2018.

HALLETT, Richard A. *et al.* Climate change and urban forests. *In*: FUTURE FORESTS. [*S. l.*]: Elsevier, 2024. p. 243–264.

HE, Bao-Jie *et al.* An approach to examining performances of cool/hot sources in mitigating/enhancing land surface temperature under different temperature backgrounds based on landsat 8 image. **Sustainable Cities and Society**, [*s. l.*], v. 44, p. 416–427, 2019.

HIDALGO GARCÍA, David. Spatio-temporal analysis of the urban green infrastructure of the city of Granada (Spain) as a heat mitigation measure using high-resolution images Sentinel 3. **Urban Forestry & Urban Greening**, [*s. l.*], v. 87, p. 128061, 2023.

HONGYU, Kuang; SANDANIELO, Vera Lúcia Martins; JUNIOR, Gilmar Jorge de Oliveira. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. **E&S Engineering and Science**, [*s. l.*], v. 5, n. 1, p. 83–90, 2016.

HU, Zheneng *et al.* Linking landscape pattern, ecosystem service value, and human well-being in Xishuangbanna, southwest China: Insights from a coupling coordination model. **Global Ecology and Conservation**, [*s. l.*], v. 27, p. e01583, 2021.

HU, Tao *et al.* Stage response of vegetation dynamics to urbanization in megacities: A case study of Changsha City, China. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 858, p. 159659, 2023.

HUANG, Yali *et al.* The impact of payment for ecosystem service schemes on participants' motivation: A global assessment. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 65, p. 101595, 2024.

HUBERT, Marcos; MINUZZI, Rosandro Boligon. Temperatura de solo coberto e descoberto a partir da temperatura do ar. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [*s. l.*], v. 5, n. 3, p. 274–280, 2020.

IPBES. **Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services** (S. Díaz et al., Org.). Bonn (Germany): [*s. n.*], 2019.

JIANG, Kang *et al.* Combined influence of soil moisture and atmospheric humidity on land surface temperature under different climatic background. **iScience**, [*s. l.*], v. 26, n. 6, p. 106837, 2023.

KHAN, Muhammad Sadiq; LI, Yuelin. Comparative study and effects of urban green scape on the land surface temperature of a large metropolis and green city. **Heliyon**, [*s. l.*], v. 10, n. 3, p. e24912, 2024.

KNIESS, Cláudia Terezinha *et al.* Inovação urbana e recursos humanos para gestão de cidades sustentáveis. **Estudos Avancados**, [*s. l.*], v. 33, n. 97, p. 119–135, 2019.

KOBAYASHI, Andrea Regina Kaneko *et al.* Smart sustainable cities: bibliometric study and patent information. **International Journal of Innovation**, [*s. l.*], v. 5, n. 1, p. 77–96, 2017.

KOLINJIVADI, Vijay; VAN HECKEN, Gert; MERLET, Pierre. Fifteen years of research on payments for ecosystem services (PES): Piercing the bubble of success as defined

by a Northern-driven agenda. **Global Environmental Change**, [*s. l.*], v. 83, p. 102758, 2023.

KUMI, Samuel; ADDO-FORDJOUR, Patrick; FEI-BAFFOE, Bernard. Mining-induced changes in ecosystem services value and implications of their economic and relational cost in a mining landscape, Ghana. **Heliyon**, [*s. l.*], v. 9, n. 10, p. e21156, 2023.

LAGO, A. A. C. **ESTOCOLMO, RIO, JOANESBURGO O BRASIL E AS TRÊS CONFERÊNCIAS AMBIENTAIS DAS NAÇÕES UNIDAS**. Brasília: [*s. n.*], 2006. Disponível em: http://funag.gov.br/loja/download/903-Estocolmo_Rio_Joanesburgo.pdf. Acesso em: 25 fev. 2024.

LARA-PULIDO, José Alberto; GUEVARA-SANGINÉS, Alejandro; ARIAS MARTELO, Camilo. A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 31, p. 126–141, 2018.

LAZAROIU, George Cristian; ROSCIA, Mariacristina. Definition methodology for the smart cities model. **Energy**, [*s. l.*], v. 47, n. 1, p. 326–332, 2012.

LE, Tuyet-Anh T. *et al.* Payments for ecosystem services programs: A global review of contributions towards sustainability. **Heliyon**, [*s. l.*], v. 10, n. 1, p. e22361, 2024.

LEE, Dong-Kyu. Analysis of the potential value of cultural ecosystem services: A case study of Busan City, Republic of Korea. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 65, p. 101596, 2024.

LEFCHECK, J. **Sample (ECOLOGY) Random thoughts on ecology, biodiversity, and science in general**. [*S. l.*], 2012. Disponível em: https://jonlefcheck.net/2012/10/24/nmds-tutorial-in-r/. Acesso em: 4 out. 2024.

LEHFELD, L. S.; SIQUEIRA, O.N. A contribuição da sociedade do conhecimento para o ecodesenvolvimento e as cidades inteligentes. **Revista Direto da Cidade**, [*s. l.*], v. 14, n. 2, p. 855–876, 2022.

LEMOINE-RODRÍGUEZ, Richard *et al.* Too hot to handle? On the cooling capacity of urban green spaces in a Neotropical Mexican city. **Urban Forestry & Urban Greening**, [*s. l.*], v. 74, p. 127633, 2022.

LI, Sihan; YU, Deyong; LI, Xinyu. Exploring the impacts of ecosystem services on human well-being in Qinghai Province under the framework of the sustainable development goals. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 345, p. 118880, 2023.

LINDEN, Ricardo. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informática da FSMA**, [*s. l.*], v. 4, p. 18–36, 2009.

LIU, Hongqing *et al.* Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. **Building and Environment**, [*s. l.*], v. 196, p. 107794, 2021.

LIU, Ranran *et al.* Study on the relationship among the urbanization process, ecosystem services and human well-being in an arid region in the context of carbon flow: Taking the Manas River basin as an example. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 132, p. 108248, 2021.

LIU, Xian. Traditional methods of longitudinal data analysis. *In*: METHODS AND APPLICATIONS OF LONGITUDINAL DATA ANALYSIS. [*S. l.*]: Elsevier, 2016. p. 19–59.

LOPES, Helio L. *et al.* Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [*s. l.*], v. 15, n. 9, p. 973–980, 2011.

MADER, A. *et al.* **TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management**. Geneva - Suíça: Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, United Kingdom, 2011. Disponível em: https://teebweb.org/publications/other/teeb-cities/. Acesso em: 21 mar. 2024.

MARANDO, Federica *et al.* Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: assessment of Urban Heat Island effect mitigation in the municipality of Rome, Italy. **Ecological Modelling**, [*s. l.*], v. 392, p. 92–102, 2019.

MARQUES, Cristina (Coordenador). **AS PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO E OS RECURSOS NATURAIS EM PORTUGAL: AVANÇOS RECENTES E DESAFIOS**. Oeiras - Portugal: [*s. n.*], 2022. Disponível em: https://www.iniav.pt/images/publicacoes/livros-manuais/silva-lusitana/LIVRO-EUCALIPTO-7-2edicao.pdf. Acesso em: 10 maio 2023.

MARTELLI, Anderson; SANTOS JR, Arnaldo Rodrigues. Arborização Urbana do município de Itapira – SP: perspectivas para educação ambiental e sua influência no conforto térmico. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [*s. l.*], v. 19, n. 2, p. 1018–1031, 2015.

MARUYAMA, Cíntia Miua; FRANCO, Maria Assunção Ribeiro. Caminhar na Trilha Norte-Sul: infraestrutura verde entre o Parque da Água Branca e o Horto Florestal em São Paulo [SP]. **Labor e Engenho**, [*s. l.*], v. 11, n. 3, p. 355, 2017.

MASQUETE, Júlio Ambrósio; CHANDE, Goldfredy Manuel Chitile. Integração da infraestrutura verde no ordenamento da cidade de Lichinga: potencialidades e condicionantes. **Paisagem e Ambiente**, [*s. l.*], v. 33, n. 49, p. e186480, 2022.

MATTOS, Karina Andrade. Pensando o Desenho Ambiental: um estudo sobre os espaços verdes ao longo do Ribeirão Lavapés em Botucatu (SP). **Revista LABVERDE**, [*s. l.*], v. 10, n. 1, p. 17, 2020.

MCELWEE, Pamela; SHAPIRO-GARZA, Elizabeth; PASCUAL, Unai. Payments for Ecosystem Services and Biodiversity. *In*: ENCYCLOPEDIA OF BIODIVERSITY. [*S. l.*]: Elsevier, 2024. p. 270–278.

MCPHEARSON, Timon *et al.* A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services. **One Earth**, [*s. l.*], v. 5, n. 5, p. 505–518, 2022.

MEA. **Millennium Ecosystem Assessment Board - Ecosystems and human well-being Biodiversity Synthesis** (José Sarukhán & Anne Whyte, Org.). Washington, DC.: [*s. n.*], 2005.

MEKURIA, Wolde *et al.* Implications of changes in land use for ecosystem service values of two highly eroded watersheds in Lake Abaya Chamo sub-basin, Ethiopia. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 64, p. 101564, 2023.

MICHELAM, Larissa Diana *et al.* **Knowledge-based urban development as a strategy to promote smart and sustainable cities**. [*S. l.*]: Universidade Nove de Julho-UNINOVE, 2020.

MOLINA-GÓMEZ, Nidia Isabel *et al.* Urban growth and heat islands: A case study in micro-territories for urban sustainability. **Urban Ecosystems**, [*s. l.*], v. 25, n. 5, p. 1379–1397, 2022.

MONDAL, Arun; GUHA, Subhanil; KUNDU, Sananda. Dynamic status of land surface temperature and spectral indices in Imphal city, India from 1991 to 2021. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [*s. l.*], v. 12, n. 1, p. 3265–3286, 2021.

MONTEIRO, Renato; FERREIRA, José C.; ANTUNES, Paula. Green infrastructure planning principles: An integrated literature review. **Land**, [*s. l.*], v. 9, n. 12, p. 1–19, 2020.

MORAKINYO, Tobi Eniolu *et al.* Performance of Hong Kong's common trees species for outdoor temperature regulation, thermal comfort and energy saving. **Building and Environment**, [*s. l.*], v. 137, p. 157–170, 2018.

MOSS, Joseph L. *et al.* Influence of evaporative cooling by urban forests on cooling demand in cities. **Urban Forestry & Urban Greening**, [*s. l.*], v. 37, p. 65–73, 2019.

NANDA, Ved P. The Journey from the Millenium Devenlopment Goals to the Sustainable Devenlopment Goals. **Denver Journal of International Law & Policy**, Denver, v. 44, 2016. Disponível em: https://digitalcommons.du.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1043&context=djilp. Acesso em: 14 abr. 2023.

NARDINO, Marianna; LARUCCIA, Nicola. Land Use Changes in a Peri-Urban Area and Consequences on the Urban Heat Island. **Climate**, [*s. l.*], v. 7, n. 11, p. 133, 2019.

NATURAL CAPITAL. **Urban Cooling**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://naturalcapitalproject.stanford.edu/invest/urban-cooling. Acesso em: 8 maio 2024.

NEVES, Cícero Janderson Tavares *et al.* AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM UMA ÁREA URBANA NA CIDADE DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, [*s. l.*], p. 888–905, 2023.

NI, Rui; WANG, Feier; YU, Jie. Spatiotemporal changes in sustainable development and its driving force in the Yangtze River Delta region, China. **Journal of Cleaner Production**, [*s. l.*], v. 379, p. 134751, 2022.

NOWAK, David J. Regulating Ecosystem Services – Forests and Climate Regulation. *In*: IMPERILED: THE ENCYCLOPEDIA OF CONSERVATION. [*S. l.*]: Elsevier, 2022. p. 98–101.

OLAK, André Silva *et al.* Infraestrutura Verde: uma estratégia de conexões da paisagem em Londrina-PR. **Revista LABVERDE**, [*s. l.*], v. 10, n. 1, 2020.

PENNY, A. *et al.* **State of the Tropics 2020 Report**. Townsville, Australia: James Cook University, 2020. Disponível em: https://www.jcu.edu.au/state-of-the-tropics/publications/state-of-the-tropics-2020-report. Acesso em: 19 mar. 2024.

PEREIRA, Susana Pacheco *et al.* Dinâmica temporal do efluxo de CO2 em fragmento de cerrado Mato-Grossense. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [*s. l.*], v. 9, n. 2, p. 31–40, 2018.

PONTES, A.C.F. **ANÁLISE DE VARIÂNCIA MULTIVARIADA COM A UTILIZAÇÃO DE TESTES NÃO-PARAMÉTRICOS E COMPONENTES PRINCIPAIS BASEADOS EM MATRIZES DE POSTOS**. 2005. 1–117 f. Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP, Piracicaba - SP, 2005.

POUYAT, Richard V.; TRAMMELL, Tara L.E. Climate change and urban forest soils. *In*: [*S. l.: s. n.*], 2019. p. 189–211.

PUKOWIEC-KURDA, Katarzyna. The urban ecosystem services index as a new indicator for sustainable urban planning and human well-being in cities. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 144, p. 109532, 2022.

QUARESMA, Cristiano Capellani *et al.* Influências da Textura e Temperatura dos Solos Sobre a Regeneração do Cerrado na Estação Ecológica de Jataí – Luiz Antônio/SP-Brasil. **Geography Department University of Sao Paulo**, [*s. l.*], v. 36, p. 141–154, 2018.

RAIHAN, Asif. A review on the role of green vegetation in improving urban environmental quality. **Eco Cities**, [*s. l.*], v. 4, n. 2, p. 2387, 2024.

RAYMOND, C.M. *et al.* **An impact evaluation framework to support planning and evaluation of nature-based solutions projects**. Oxford, United Kingdom: Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, United Kingdom, 2017. Disponível em: https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:3ecfc907-1971-473a-87f3-63d1204120f0/download_file?file_format=application%2Fpdf&safe_filename=EKLIPSE_Report1-NBS_FINAL_Complete-02022017_LowRes_4Web.pdf&type_of_work=Report. Acesso em: 12 maio 2023.

REIS, E.A.; REIS, I.A. **Análise Descritiva de Dados**. Belo Horizonte - MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. Disponível em: https://www.est.ufmg.br/portal/wp-content/uploads/2023/01/RTE-02-2002.pdf. Acesso em: 21 maio 2024.

RIBEIRO, Marina Pannunzio *et al.* Impacts of urban landscape pattern changes on land surface temperature in Southeast Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [*s. l.*], v. 33, p. 101142, 2024.

RICHARDS, Daniel R. *et al.* Global variation in contributions to human well-being from urban vegetation ecosystem services. **One Earth**, [*s. l.*], v. 5, n. 5, p. 522–533, 2022.

ROCHA, S. A. N.; GUIMARÃES, S. O.; LOUREIRO, C. F. B. As políticas públicas como instrumento efetivo para o planejamento territorial e sua relação com o desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, [*s. l.*], v. 9, n. 4, p. 547, 2020.

RODRIGUES, Gilberto Aparecido *et al.* OSCILAÇÕES DA TEMPERATURA DO SOLO EM FUNÇÃO DE QUANTIDADES DE PALHA E HORÁRIOS AO LONGO DO DIA. **Revista Interface Tecnológica**, [*s. l.*], v. 15, n. 1, p. 293–304, 2018.

RODRIGUES, W.C. **Similaridade de Bray-Curtis. DivEs - Diversidade de Espécies v.4.24.99.2404 (AntSoft Systems On Demand) - Guia do Usuário**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://dives.antsoft.com.br/GuideDives?IDTopic=0829F7A3-613950A9-B8997111&Topico=ST14#:~:text=O%20%C3%ADndice%20de%20Bray%2DCurtis,interpreta%C3%A7%C3%A3o%20e%20compara%C3%A7%C3%A3o%20(ECOVIRTUAL). Acesso em: 19 out. 2024.

RUBIO, José L. *et al.* Protecting the soil is protecting the climate WASWAC and IUSS position paper on the inter linkages of soil and climate change. **Soil Security**, [*s. l.*], v. 14, p. 100124, 2024.

SANTOS, Fernando; CARDELES, Vicenzo. Automação na drenagem urbana: Hoje x Futuro. **III SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA: SINGEURB, 2021, Maceió. Anais...**, Porto Alegre, p. 531–537, 2021. Disponível em:

https://eventos.antac.org.br/index.php/singeurb/issue/view/14. Acesso em: 20 abr. 2023.

SEEMUANGNGAM, Apinan; LIN, Han-Liang. The impact of urbanization on urban flood risk of Nakhon Ratchasima, Thailand. **Applied Geography**, [*s. l.*], v. 162, p. 103152, 2024.

SENEVIRATHNA, Ayesha D. *et al.* Do remnant forest patches provide microclimate buffering? A case study from Sri Lanka. **Forest Ecology and Management**, [*s. l.*], v. 562, p. 121925, 2024.

SHIFLETT, Sheri A. *et al.* Variation in the urban vegetation, surface temperature, air temperature nexus. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 579, p. 495–505, 2017.

SHRESTHA, Kripa *et al.* Ecosystem services valuation for conservation and development decisions: A review of valuation studies and tools in the Far Eastern Himalaya. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 61, p. 101526, 2023.

SINGH, Srashti; SHUKLA, Anugya; JAIN, Kamal. Assessing the urbanization-induced impact on environmental parameters of a city from a remote-sensing perspective. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [*s. l.*], v. 34, p. 101169, 2024.

SOARES, Kálita Louhanny Gomes. ARBORIZAÇÃO EM ÁREA URBANA VULNERÁVEL ÀS MUDANÇAS DO CLIMA - ESTUDO DE CASO. **MIX Sustentável**, [*s. l.*], v. 8, n. 5, p. 41–51, 2022.

SOTTO, Debora *et al.* Sustentabilidade urbana: Dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. **Estudos Avancados**, [*s. l.*], v. 33, n. 97, p. 61–80, 2019.

TAMBURINI, Giovanni *et al.* Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. **Science Advances**, [*s. l.*], v. 6, n. 45, 2020.

TAN, Jing *et al.* Mapping the evolution patterns of urbanization, ecosystem service supply–demand, and human well-being: A tree-like landscape perspective. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 154, p. 110591, 2023.

TAVARES, Fabiany Sampaio Bertucci; BERGIER, Ivan; GUARALDO, Eliane. Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços ecossistêmicos. **Interações (Campo Grande)**, [*s. l.*], p. 103–114, 2021.

UNITED NATIONS. **Guia sobre Desenvolvimento Sustentável**. [*S. l.*], 2015. Disponível em: https://unric.org/pt/wp-content/uploads/sites/9/2019/01/SDG_brochure_PT-web.pdf. Acesso em: 14 abr. 2023.

UNITED NATIONS. **Natural Capital Accounting For Integrated Climate Change Policies**. New York: [*s. n.*], 2020.

UNITED NATIONS. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. Oslo, 1987. Disponível em: https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html. Acesso em: 14 abr. 2023.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. New York: [*s. n.*], 2019. Disponível em: https://population.un.org/wup/publications/Files/WUP2018-Report.pdf. Acesso em: 14 abr. 2023.

USP. **Temperatura do Ar**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://lcb.fflch.usp.br/temperatura-do-ar#:~:text=A%20temperatura%20do%20ar%20%C3%A9,com%20o%20decorrer%20do%20tempo. Acesso em: 9 abr. 2024.

VAČKÁŘOVÁ, Davina *et al.* Ecosystem services footprint of international trade: Economic value of ecosystem services lost due to crop production. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 64, p. 101560, 2023.

VARELLA, C.A.A. **Análise de Componentes Principais Carlos Alberto Alves Varella**. Rio de Janeiro - RJ: [*s. n.*], 2008. Disponível em: http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/multivariada%20aplicada%20as%20ciencias%20agrarias/Aulas/analise%20de%20componentes%20principais.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.

VÁRI, Ágnes *et al.* National mapping and assessment of ecosystem services projects in Europe – Participants' experiences, state of the art and lessons learned. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 65, p. 101592, 2024.

VIEIRA, Joana *et al.* Green spaces are not all the same for the provision of air purification and climate regulation services: The case of urban parks. **Environmental Research**, [*s. l.*], v. 160, p. 306–313, 2018.

WANG, Yuanyuan *et al.* Temporal and spatial variation relationship and influence factors on surface urban heat island and ozone pollution in the Yangtze River Delta, China. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 631–632, p. 921–933, 2018.

WHITE, Benjamin Leonardo Alves; SILVA, Maria Flaviane Almeida. VARIAÇÕES MICROCLIMÁTICAS E PERIGO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA NO MUNICÍPIO DE SÃO CRISTOVÃO, SERGIPE. **Nativa**, [*s. l.*], v. 6, p. 729–736, 2018.

WILKERSON, Marit L. *et al.* The role of socio-economic factors in planning and managing urban ecosystem services. **Ecosystem Services**, [*s. l.*], v. 31, p. 102–110, 2018.

WONG, Nyuk Hien; YU, Chen. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. **Habitat International**, [*s. l.*], v. 29, n. 3, p. 547–558, 2005.

WU, Hao *et al.* Quantification of contribution of climate change and land use change on urban ecosystem service using multi-scale approach. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 167, p. 112619, 2024a.

WU, Hao *et al.* Quantification of contribution of climate change and land use change on urban ecosystem service using multi-scale approach. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 167, p. 112619, 2024b.

XIMENES, Deize Sanches; MAGLIO, Ivan; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. infraestrutura verde nos espaços públicos como elemento de resiliência socioambiental pós-pandemia. **Labor e Engenho**, [*s. l.*], v. 14, p. e020011, 2020.

YAN, Ming *et al.* Effects of local background climate on urban vegetation cooling and humidification: Variations and thresholds. **Urban Forestry & Urban Greening**, [*s. l.*], v. 80, p. 127840, 2023.

YANG, Siqi *et al.* Socio-cultural valuation of rural and urban perception on ecosystem services and human well-being in Yanhe watershed of China. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 251, p. 109615, 2019.

YEE, Susan H. *et al.* Projecting effects of land use change on human well-being through changes in ecosystem services. **Ecological Modelling**, [*s. l.*], v. 440, p. 109358, 2021.

YIGITCANLAR, Tan; KAMRUZZAMAN, Md. Does smart city policy lead to sustainability of cities?. **Land Use Policy**, [*s. l.*], v. 73, p. 49–58, 2018.

ZHANG, Wenmin *et al.* Global quantification of the bidirectional dependency between soil moisture and vegetation productivity. **Agricultural and Forest Meteorology**, [*s. l.*], v. 313, p. 108735, 2022.

ZHANG, Ying; SUN, Lixin. Spatial-temporal impacts of urban land use land cover on land surface temperature: Case studies of two Canadian urban areas. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [*s. l.*], v. 75, p. 171–181, 2019.

ZHAO, Wei *et al.* Dynamic traceability effects of soil moisture on the precipitation–vegetation association in drylands. **Journal of Hydrology**, [*s. l.*], v. 615, p. 128645, 2022.

ZHAO, Lingyan *et al.* Effects of urban lakes and neighbouring green spaces on air temperature and humidity and seasonal variabilities. **Sustainable Cities and Society**, [*s. l.*], v. 91, p. 104438, 2023.

ZIMMERMANN, Beate *et al.* Assessing the cooling potential of climate change adaptation measures in rural areas. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 366, p. 121595, 2024.

ZINZI, Michele *et al.* On the thermal response of buildings under the synergic effect of heat waves and urban heat island. **Solar Energy**, [*s. l.*], v. 211, p. 1270–1282, 2020.

ZUO, Zhiyan *et al.* Importance of soil moisture conservation in mitigating climate change. **Science Bulletin**, [*s. l.*], 2024a.

ZUO, Zhiyan *et al.* Importance of soil moisture conservation in mitigating climate change. **Science Bulletin**, [*s. l.*], v. 69, n. 9, p. 1332–1341, 2024b.