

GABRIELA GOMES

**IMPACTO DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA SOBRE A
VARIABILIDADE DO CALOR SENSÍVEL NA APA DE ITUPARARANGA**

Sorocaba (SP)

2025

GABRIELA GOMES

**IMPACTO DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA SOBRE A
VARIABILIDADE DO CALOR SENSÍVEL NA APA DE ITUPARARANGA**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva

Sorocaba (SP)

2025

G633i	Gomes, Gabriela Impacto das mudanças no uso e cobertura da terra sobre a variabilidade do calor sensível na APA de Itupararanga / Gabriela Gomes. -- Sorocaba, 2025 60 p. : il., tabs. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba Orientador: Darllan Collins da Cunha e Silva 1. Balanço energético (Geofísica). 2. Ciclo hidrológico. 3. Análise espacial (Estatística). 4. Sensoriamento remoto. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: IMPACTO DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA SOBRE A VARIABILIDADE DO CALOR SENSÍVEL NA APA DE ITUPARARANGA

AUTORA: GABRIELA GOMES

ORIENTADOR: DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Ambientais, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:



Assinado de forma digital
por Darllan Collins da Cunha
e Silva:22397267845
Dados: 2025.02.10 16:08:32
-03'00'

Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp - Campus Sorocaba



Documento assinado digitalmente
VANESSA CEZAR SIMONETTI
Data: 05/02/2025 16:29:21-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profª. Drª. VANESSA CEZAR SIMONETTI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia / Universidade de Sorocaba (UNISO)



Documento assinado digitalmente
RAPHAEL DE VICQ FERREIRA DA COSTA
Data: 10/02/2025 12:17:57-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. RAPHAEL DE VICQ FERREIRA DA COSTA (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Terra / Universidade do Minho

Sorocaba, 05 de fevereiro de 2025

Dedico esta dissertação à minha mãe, que, sob muito sol, me permitiu chegar até aqui, na
sombra.

AGRADECIMENTOS

À minha família, por ter me apoiado até aqui, em especial à minha mãe, que fez o possível e o impossível para eu chegar até aqui.

À minha amiga Liliane, pelas orientações e pelo auxílio, que foram essenciais para a realização desta pesquisa. Pela companhia nessa trajetória, pelas conversas, risadas e por acreditar em mim, Liliane foi e continua sendo uma parte essencial desta dissertação e da minha vida.

Aos meus amigos Ana Laura e Felipe, pelos conselhos, pela companhia, pelas risadas e por acreditarem em mim, mesmo quando eu não acreditava. Vocês foram responsáveis por tornar este caminho mais leve e gratificante; irei levá-los sempre comigo no coração.

Ao Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva, pela excelente orientação e incentivo. Sem dúvidas, o melhor orientador que poderia ter.

À minha professora da graduação e amiga, Vanessa, por toda orientação, incentivo e ajuda para realizar o mestrado.

A todos os colegas do Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Matemática e aos amigos por toda Unesp, pelo convívio e pelos aprendizados.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Sorocaba, pela infraestrutura fornecida, ao corpo docente, aos técnicos e aos funcionários.

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

RESUMO

O fluxo de calor sensível (H) é um dos componentes do fluxo de energia superficial que afetam diretamente o balanço energético urbano. As mudanças no uso e cobertura da terra (UCT) modificam a transferência de calor entre a superfície e a atmosfera durante as trocas de energia e fluxos de água, os quais influenciam a distribuição de energia disponível em formas de calor latente, sensível e do solo. A partição da energia solar na superfície terrestre entre calor latente, evaporação e calor sensível é um processo fundamental no sistema climático e um fator principal no controle do ciclo hidrológico terrestre. Técnicas de sensoriamento remoto, quando integradas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) e modelos matemáticos, demonstram potencial significativo para fornecer informações confiáveis e essenciais sobre o balanço de energia em escala temporal. O objetivo do estudo é analisar espacialmente e temporalmente os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra sobre o calor sensível da Área de Proteção Ambiental de Itupararanga entre os anos de 1986 e 2021. Para o cálculo do calor sensível foi utilizada parte da arquitetura do algoritmo *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL) e aplicado no *software* ArcGIS 10.8. O aumento considerável nas classes de UCT, como culturas temporárias e áreas urbanizadas, e redução na pastagem ao longo na série histórica estudada, influenciaram substancialmente o calor sensível na área em estudo. O incremento das áreas de culturas temporárias, exerceu influência sobre a diminuição no calor sensível durante os anos analisados em razão dessas áreas serem mais úmidas devido a constante irrigação em função da demanda hídrica que essas culturas necessitam. O crescimento das áreas urbanizadas apresentou um comportamento incomum no calor sensível, dado que houve uma diminuição do H em áreas urbanizadas. Apesar do calor sensível ter diminuído de modo geral nas áreas urbanas, ainda se observa que essa classe de UCT apresentou as maiores médias de calor sensível ao longo dos anos. O ano de 1994 se destacou por apresentar os menores valores de calor sensível, atribuídos a condições climáticas atípicas.

Palavras-chave: Balanço energético, Ciclo hidrológico, Análise espacial, Análise temporal.

ABSTRACT

Sensible heat flux (H) is one of the surface energy flux components that directly affect the urban energy balance. Changes in land use and land cover (LULC) alter the heat transfer between the surface and the atmosphere during energy and water flux exchanges, which influence the distribution of available energy in the form of latent, sensible, and ground heat. The partitioning of solar energy at the Earth's surface between latent heat, evaporation, and sensible heat is a fundamental process in the climate system and a key factor in controlling the terrestrial hydrological cycle. Remote sensing techniques, when integrated into the Geographic Information System (GIS) environments and mathematical models, demonstrate significant potential to provide reliable and essential information on energy balance at temporal scales. The objective of the study is to spatially and temporally analyze the impacts of changes in land use and land cover on sensible heat in the Itupararanga Environmental Protection Area between the years 1986 and 2021. To calculate sensible heat, part of the architecture of the Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL) algorithm was used and applied in the ArcGIS 10.8 software. The considerable increase in LULC classes, such as temporary crops and urbanized areas, and the reduction in pastureland over the historical series studied, substantially influenced the sensible heat in the study area. The increase in temporary crop areas exerted an influence on the decrease in sensible heat during the years analyzed because these areas are more humid due to constant irrigation, given the water demand that these crops require. The growth of urbanized areas presented an unusual behavior in sensible heat, as there was a decrease in H in urbanized areas. Although sensible heat generally decreased in urban areas, it is still observed that this LULC class presented the highest average sensible heat values over the years. The year 1994 stood out for presenting the lowest sensible heat values, attributed to atypical climatic conditions.

Keywords: Energy balance, Hydrological cycle, Spatial analysis, Temporal analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da APA de Itupararanga.	19
Figura 2 - Pedologia e Geologia da APA de Itupararanga.	20
Figura 3 - Fluxograma processo iterativo para determinação do calor sensível.	28
Figura 4 - Uso e Cobertura da Terra na APA de Itupararanga entre 1986 e 2021.	33
Figura 5 - Proporção em % das áreas ocupadas por cada classe na APA de Itupararanga entre 1986 e 2021.	34
Figura 6 - Calor sensível na APA de Itupararanga entre 1986 e 2021.	35
Figura 7 - Tendência do calor sensível na APA de Itupararanga.	37
Figura 8 - Estatística zonal do calor sensível em função do uso e cobertura da terra.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento de rugosidade para o tipo de uso do solo.	24
Tabela 2 - Comprimento de rugosidade para o tipo de uso do solo na estação meteorológica para cada ano analisado.	25
Tabela 3 - Comprimento de rugosidade para o tipo de cultura na área de estudo por ano..	26
Tabela 4 - Coeficientes de determinação de dT para cada ano.	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

APA	rea de Proteção Ambiental
CIIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
ET	Evapotranspiração
G	Calor no Solo
H	Fluxo de Calor Sensível
IAF	ndice de rea Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
L	Monin-Obukhov
LE	Fluxo de Calor Latente
MDE	Modelo Digital de Elevação
Rn	Radiação Líquida
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithms for Land
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
UCT	Uso e Cobertura da Terra

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVO.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	CALOR SENSÍVEL E A RELAÇÃO COM A COBERTURA DO SOLO	15
3.2	CALOR SENSÍVEL E SUA IMPORTÂNCIA PARA O CICLO HIDROLÓGICO	16
3.3	ESTIMATIVA DO CALOR SENSÍVEL COM O USO DE SIG E SENSORIAMENTO REMOTO (SR).....	17
4	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
4.2	COLETA DE DADOS	21
4.2.1	<i>Uso e cobertura da terra</i>	<i>21</i>
4.2.2	<i>Dados Meteorológicos.....</i>	<i>21</i>
4.3	DETERMINAÇÃO DO CALOR SENSÍVEL	22
4.4	ESTATÍSTICA ZONAL	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A - ITERAÇÃO	55

1 INTRODUÇÃO

O surgimento e desenvolvimento do clima terrestre são principalmente influenciados pelo balanço energético global, juntamente com as suas flutuações ao longo do tempo e espaço (Wild et al., 2013). A análise das características do balanço energético na superfície terrestre são fundamentais para compreender a dinâmica e particularidade dos diferentes micros e mesoclimas, contribuindo para melhorar a sua representação em modelos numéricos de tempo e clima (Weber; Kuttler, 2005). Esses modelos podem desempenhar um papel essencial na modernização e resposta à expansão urbana, planejamento de cidades futuras, reduzindo o aquecimento urbano, melhorando o conforto ao ar livre e a conservação dos recursos naturais diante dos desafios às mudanças climáticas (Abunnasr; Mhawej; Chrysoulakis, 2022).

As atividades antrópicas são o principal fator de alterações climáticas regionais e global, promovendo modificações no balanço energético. As transformações na superfície terrestre modificam as características biofísicas, tanto radiativas quanto não radiativas, resultando em interferências diretas no equilíbrio energético superficial, e consequentemente, nas temperaturas locais da superfície e do ar (Shen; Zhao; Ma, 2021). As flutuações no balanço energético global não afetam apenas as temperaturas no globo, mas também diversos aspectos climáticos, incluindo circulações atmosféricas e oceânica, os componentes do ciclo hidrológico, geleiras, produtividade das plantas e a absorção do carbono terrestre (Wild et al., 2013).

O fluxo de calor sensível (H) é um dos componentes do fluxo de energia superficial que afetam diretamente o balanço energético urbano. A troca de calor entre a superfície e a atmosfera é denominada de calor sensível, e fornece uma maneira eficiente de diferenciar atributos físicos de várias superfícies e avaliar quantitativamente a transferência de calor que afeta a temperatura (Kwon et al., 2021), e é uma das principais formas de troca de energia entre a superfície e atmosfera, com suas variações tendo um impacto significativo na alta atmosfera (Han et al., 2021).

As alterações no Uso e Cobertura da Terra (UCT) podem ter amplos efeitos sobre o clima desde escalas locais até global, influenciando os balanços locais de emissões de materiais, energia e água por meio de processos biogeofísicos (Li et al., 2023). As mudanças no UCT modificam a transferência de calor entre a superfície e a atmosfera durante as trocas de energia e fluxos de água, os quais influenciam a distribuição de energia disponível em formas de calor latente, sensível e do solo (Li et al., 2020), essas mudanças provocam diretamente a degradação da paisagem e impactam a superfície terrestre, resultando na

emissão de gases de efeito estufa, perda de biodiversidade, degradação dos recursos do solo e ecossistemas, esgotamento de serviços ecossistêmicos e mudanças climáticas globais (Meneses et al., 2018; Faichia et al., 2020).

A Mata Atlântica é um dos biomas mais ricos em biodiversidade do mundo, tendo sido declarada Reserva da Biosfera pela Unesco e Patrimônio Nacional pela Constituição Federal Brasileira (1988). Contudo, apesar deste arcabouço protetivo, é o bioma mais ameaçado do Brasil. Localizada próximo ao litoral, nas regiões mais populosas do Brasil, este bioma sofre, desde o início da colonização do país, um processo de desmatamento sem precedentes devido as ações antrópicas e expansão urbana, o qual se acentuou ao longo dos últimos anos (Lobón-Cerviá et al., 2016; Hernandez et al., 2022).

Originalmente, a Mata Atlântica ocupava cerca de 13% do território brasileiro, entretanto, sua área foi drasticamente reduzida para aproximadamente 1%, com um elevado grau de degradação e fragmentação da porção remanescente da floresta (Pereira et al., 2018), restando apenas 22% de sua cobertura original (Hernandes et al., 2022). Segundo Scarano e Ceoto (2015), 11,6% da cobertura remanescente da Mata Atlântica está altamente fragmentada, o que a torna altamente vulnerável às mudanças climáticas. Consequentemente, este bioma figura entre os três *hotspots* de biodiversidade mais suscetíveis às mudanças globais (Bellard et al., 2014).

Considerando que ainda não há estudos que abordem a relação das mudanças nos diferentes uso e cobertura da terra sobre o calor sensível ao longo do tempo em áreas de Mata Atlântica, e como este bioma sofreu diversas transformações devido à degradação e fragmentação, a hipótese desse estudo é que as mudanças do Uso e Cobertura da Terra na APA de Itupararanga ao longo do tempo impactaram o fluxo de calor sensível e que a conservação da área de remanescentes do bioma Mata Atlântica atenua esses efeitos.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Analisar espacialmente e temporalmente os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra sobre o calor sensível da Área de Proteção Ambiental de Itupararanga, São Paulo, Brasil.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar espacialmente e temporalmente o uso e cobertura da terra para os anos de 1986, 1994, 2001, 2007, 2014 e 2021;
- Calcular e analisar o calor sensível por meio de um processo iterativo para o período estabelecido;
- Analisar a correlação entre o uso e cobertura da terra e o calor sensível utilizando estatística zonal como modelo estatístico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Calor sensível e a relação com a cobertura do solo

O fluxo de calor sensível é um componente significativo no balanço energético superficial, responsável pelo transporte de calor da superfície para a atmosfera. As alterações no uso e cobertura da terra tem se mostrado como um dos fatores determinantes que contribuem para as mudanças significativas no calor sensível e armazenamento de calor no orçamento superficial energético urbano.

A cobertura da terra refere-se às características físicas que compõem a superfície terrestre, como florestas, pastagens, áreas agrícolas, lagos e zonas úmidas, enquanto o uso da terra fornece informações sobre a interação do homem com determinadas áreas (Tariq et al., 2023).

O efeito mais visível das atividades antropogênicas em nível regional e local são as alterações no uso e cobertura da terra, essas mudanças modificam o balanço energético da superfície, o que, por sua vez, afeta a temperatura da superfície e altera o microclima na região (Gogoi, et al., 2019). A expansão das terras agrícolas, a urbanização de áreas abertas, diminuição das superfícies de água, esgotamento dos recursos hídricos subterrâneos e a redução das áreas de vegetação transformam radicalmente o ambiente existente (Das et al., 2021), impactando diretamente o clima local e global.

Muitos estudos buscaram compreender as mudanças no uso e cobertura da terra sobre o balanço energético da superfície, alguns em específico com o calor sensível. Tariq et al. (2023), avaliou as mudanças no UCT na Turquia, entre 2000 e 2021, e observou uma tendência decrescente no fluxo de calor sensível e aumento no fluxo de calor latente devido ao aumento da cobertura vegetal e áreas irrigadas.

O modelo empregado no estudo de Prijith et al. (2021) mostrou que as conversões de UCT no noroeste da Índia causam mudanças significativas na transferência de energia da superfície para a atmosfera, observando uma diminuição no fluxo de calor sensível, com aumento da umidade do solo e do calor latente, entre 2003 e 2012. Tariq et al. (2022) estudaram os impactos das mudanças do uso e cobertura da terra nos fluxos de calor latente/sensível e na precipitação sobre o Paquistão, onde a taxa do fluxo de calor sensível demonstrou uma tendência decrescente.

As alterações no uso e cobertura da terra resultam em mudanças nos padrões de precipitação, aumento na temperatura da superfície terrestre, criação de ilhas de calor urbanas, mudanças climáticas em várias escalas e impactos imediatos em áreas adjacentes

ou distantes (Parbaleh; Kaboli, 2023). O resultado de processos biofísicos concorrentes no balanço energético da superfície da Terra varia espacial e sazonalmente, podendo levar ao aquecimento ou resfriamento, dependendo das mudanças específicas na vegetação e do clima de fundo (Duveiller et al., 2018).

3.2 Calor sensível e sua importância para o ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico determina a transferência de água da atmosfera para a Terra na forma de precipitação e seu retorno à atmosfera através da evapotranspiração (Oliveira, 2019). O ciclo hidrológico está ligado ao fluxo de energia na atmosfera, envolvendo a absorção de calor latente durante a evaporação e sua liberação na convecção (calor sensível) e condensação. Esse processo gera padrões de precipitação variáveis, resultando em regiões úmidas e secas que podem oscilar entre secas e inundações, dependendo da localização (Benestad et al., 2022).

As mudanças no ciclo hidrológico regional estão ligadas à circulação troposférica, que é causada pela distribuição desigual de aquecimento e resfriamento diabático, além de ser influenciada por vórtices sinóticos que transportam calor e umidade (Ma et al., 2018).

Desse modo, o equilíbrio deste ciclo é fundamental para a existência de toda a vida terrestre e suas inter-relações. A partição da energia solar na superfície terrestre entre calor latente, ou evaporação, e calor sensível é um processo fundamental no sistema climático e um fator principal no controle do ciclo hidrológico terrestre (Jansen et al., 2023). Monitorar os padrões espaciais e temporais dos fluxos de energia da superfície é crucial para um melhor entendimento do ciclo da água e das mudanças climáticas (Chen et al., 2024).

Os fluxos de água e calor da superfície, representados pelo fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível, são influenciados por fatores ambientais como vegetação, condições meteorológicas e atividades humanas (Chen et al., 2024). Mudança no uso e cobertura da terra afetam a interação entre a terra e a atmosfera, influenciando o fluxo de calor e a troca gasosa. Essas mudanças aumentam a incerteza na previsão de parâmetros hidrometeorológicos e intensificam fenômenos hidrológicos (Tariq et al., 2022).

As mudanças no calor sensível são o principal contribuinte para a atual alteração na média global de precipitação desde o período pré-industrial (Myhre et al., 2018). No entanto, ainda é um desafio representar a resposta não linear do calor latente e do calor sensível às mudanças nas condições de superfície, como a regulação fisiológica da vegetação e o manejo humano da água e da terra (Wang et al., 2022).

O balanço energético global da Terra está quase em equilíbrio na atmosfera e na superfície. Para manter esse equilíbrio, mudanças na precipitação devem ser compensadas por alterações no resfriamento radiativo atmosférico e no fluxo de calor sensível da superfície (Myhre et al., 2018).

A evapotranspiração (ET), que envolve a troca turbulenta de umidade e fluxos de calor entre a terra e a atmosfera, é um processo essencial que influencia o ciclo hidrológico terrestre e a variabilidade climática (Wang et al., 2022). Assim, alterações na precipitação são geralmente consideradas como sendo compensadas principalmente pelo resfriamento radiativo, com pequenas variações no calor sensível (Myhre et al., 2018).

A natureza do ciclo hidrológico é um fator essencial para moldar o clima da Terra e tem consequências significativas para os ecossistemas e a sociedade (Benestad et al., 2022). Portanto, o calor sensível é essencial para compreender as trocas de energia e ciclo hidrológico, uma vez que têm influência nos processos de evaporação e transpiração ao aquecer a superfície terrestre.

3.3 Estimativa do calor sensível com o uso de SIG e Sensoriamento Remoto (SR)

Os sistemas de informação geográfica (SIG) são desenvolvidos para armazenar, recuperar, manipular, analisar e mapear dados espaciais (Church, 2002). Um sistema de informação projetado para lidar com dados geográficos, espaciais ou geoespaciais para uso espaço temporal (Lü et al., 2018). É um conjunto de ferramentas computacionais que lida com objetos e seus atributos através de suas relações espaciais (Melos, 2018).

O sensoriamento remoto pode ser descrito como um conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre os objetos que compõem a superfície terrestre, sem a necessidade de contato direto com eles (Moreira, 2001). Quando combinado com outras ferramentas tecnológicas, como SIG e dados de campo, o sensoriamento remoto cria um ambiente onde é possível monitorar o crescimento urbano, além de permitir a mensuração de problemas ambientais que podem surgir como consequência da expansão da mancha urbana (Melos, 2018).

Portanto, o SR fornece informações geoespaciais essenciais sobre a superfície terrestre, que quando integradas ao ambiente SIG, permitem análises e visualizações que suportam diversas aplicações, aprimorando a tomada de decisões baseada em dados.

A compreensão das mudanças nos parâmetros naturais dos geossistemas, relacionadas às questões climáticas, exige a observação de variáveis quantificadas com o

auxílio do sensoriamento remoto (Alves, 2018). O sensoriamento remoto e a ciência da informação geográfica são amplamente utilizados para estudar recursos naturais e o meio ambiente, oferecendo dados essenciais e suporte metodológico (Pei et al., 2021). Essa tecnologia é aplicada em diversos campos, como agricultura, meteorologia, conservação ambiental, planejamento urbano, entre outros (Huang et al., 2024).

Essa ferramenta serve como suporte para o manejo sustentável dos recursos naturais, uma vez que o SR permite quantificar ou estimar os fluxos de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre, capturando dados quase em tempo real, diariamente, com alta resolução temporal e espacial (Rufino; Silva, 2017).

Com o uso de técnicas de sensoriamento remoto e dados fornecidos por satélites de imageamento orbital, é possível analisar as variações de temperatura na superfície terrestre por meio de algoritmos (Alves, 2018). Modelos de balanço de energia por sensoriamento remoto são atualmente os mais recomendados para estimar esses fluxos tanto em escalas temporais quanto espaciais (Sales et al., 2022).

Deste modo, técnicas de sensoriamento remoto, quando integradas ao ambiente SIG e modelos matemáticos, demonstram potencial significativo para fornecer informações confiáveis e essenciais sobre o balanço de energia em escala temporal. Segundo Lins et al. (2019), as técnicas de modelagem aumentam a confiabilidade dos balanços hídricos e de energia.

A combinação desses recursos com algoritmos, possibilita uma avaliação precisa das interações entre variáveis ambientais, como radiação solar, albedo e fluxos de calor. É possível obter parâmetros como cobertura vegetal, evapotranspiração e umidade para diferentes usos e ocupações do solo em uma bacia (Lins et al., 2019). Essa abordagem integrada não apenas aprimora a compreensão do balanço energético, mas também contribui para a modelagem e a gestão eficaz dos recursos naturais e do meio ambiente.

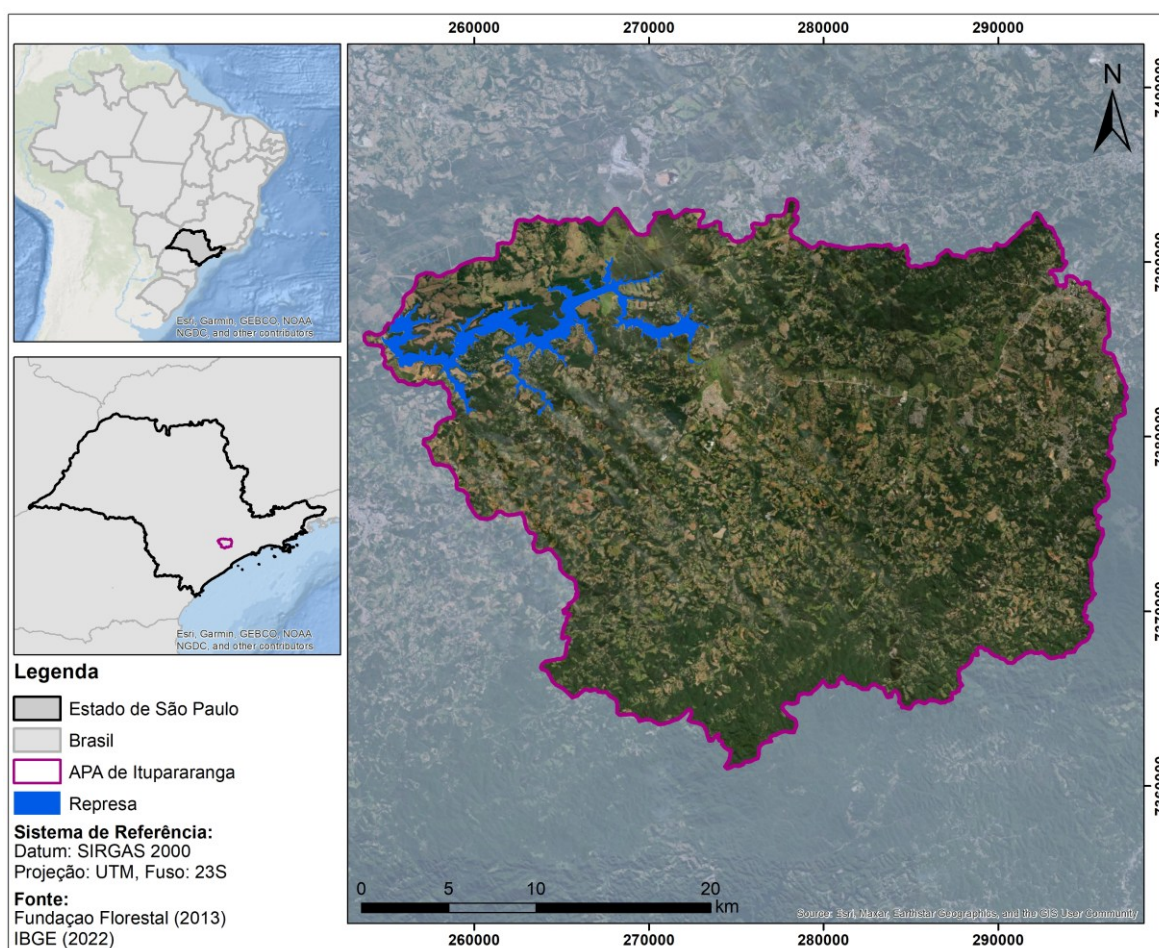
Portanto, a combinação dessas ferramentas auxilia na modelagem do fluxo de calor sensível, de modo a compreender e analisar a distribuição e comportamento do calor sensível espacialmente, bem como sua intensidade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga (Figura 1), criada pela Lei Estadual nº 10.100, 01 de dezembro de 1998 (São Paulo, 1998) e alterada pela Lei Estadual nº 11.579, 02 de dezembro de 2003 (São Paulo, 2003). A delimitação da APA corresponde à extensão geográfica da bacia hidrográfica que dá origem à represa de Itupararanga, conhecida como “Alto Sorocaba”, com aproximadamente 936 km² de extensão. Esta área abrange os seguintes municípios: Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim (Fundação Florestal, 2009).

Figura 1 - Localização da APA de Itupararanga.



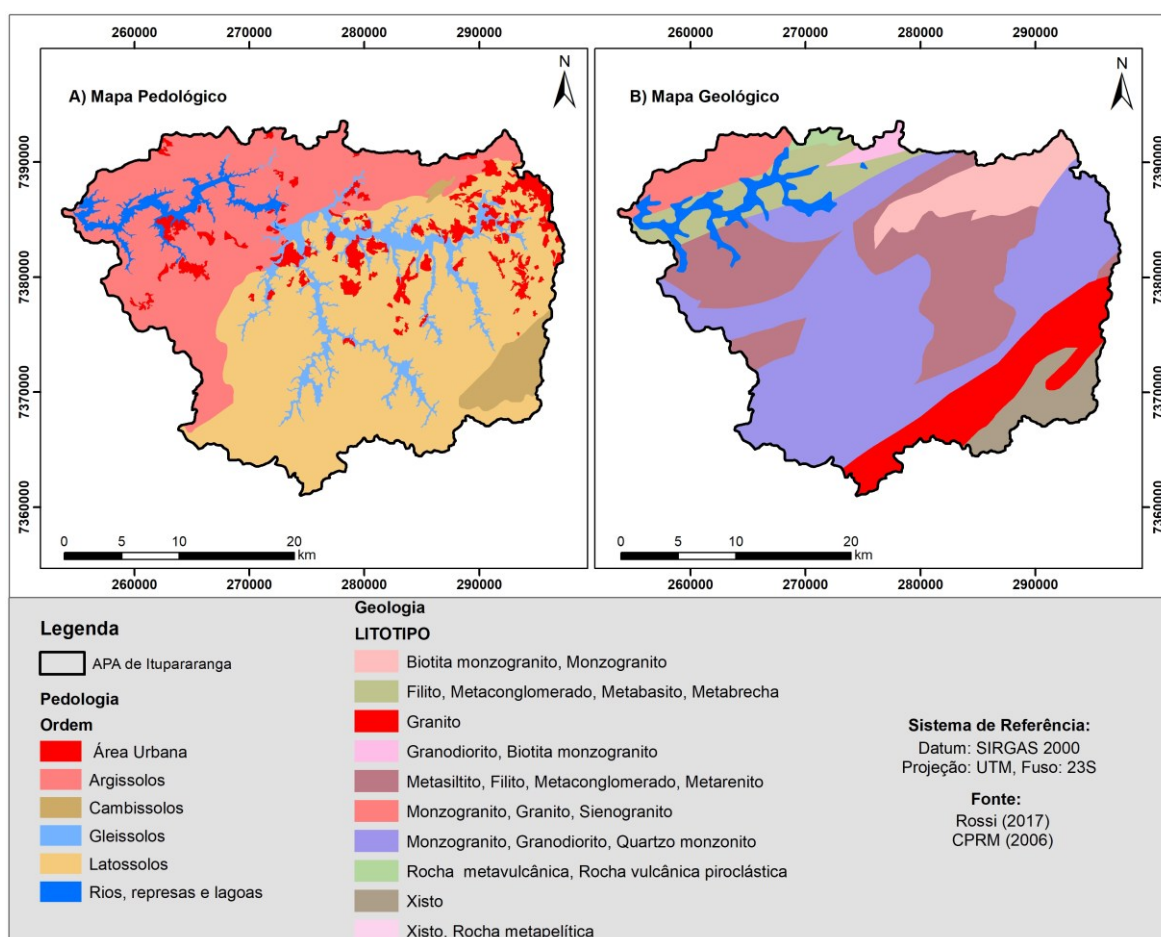
Fonte: Elaboração própria.

O clima é caracterizado por um verão marcado por chuvas e um inverno com períodos de estiagem, classificado como subtropical úmido (Cwa) segundo a classificação de Köppen. A média anual de precipitação é de 1492 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso, com 248 mm, e agosto o mais seco, registrando apenas 43 mm de chuva (Simonetti; Silva;

Rosa, 2019). A vegetação predominante é caracterizada por Floresta Ombrófila Densa, embora uma porção significativa da cobertura original tenha sido removida, e muitos dos trechos remanescentes consistem em florestas secundárias ou pequenas áreas fragmentadas (Bernadi et al., 2020).

A Bacia Hidrográfica encontra-se no limite de duas grandes Províncias Geomorfológicas: Planalto Atlântico e Depressão Periférica, com as seguintes classes: Mares de Morros, Morros com Serras Restritas, Morros Paralelos, Planícies Aluviais, Morros de Topos Achatados, Mesas Basálticas e Escarpas Festonadas (Fundação Florestal, 2009). Na bacia, destacam-se dois principais domínios litológicos metamórficos: os Domínios São Roque (metassedimentos e metabásicas) e Embu (gnaisses). A bacia também apresenta quatro principais classes de solos: Argissolo, Cambissolo, Gleissolos e Latossolo (Figura 2) (Rossi, 2017).

Figura 2 - Pedologia e Geologia da APA de Itupararanga.



Fonte: Elaboração própria.

A represa de Itupararanga é formada pelos rios Sorocamirim, Sorocabuçu e Una, responsável pelo abastecimento de 63% da população total que residem na APA, sendo

Sorocaba (74%), Votorantim (92%), Ibiúna (100%) e São Roque (32%) (Manfredini, 2018). A criação da APA tem como objetivo principal a proteção dos recursos hídricos, devido a relevância do Reservatório de Itupararanga, que é a principal fonte de abastecimento de cerca de um milhão de habitantes na bacia do Rio Sorocaba (Bernadi et al., 2020).

A paisagem da APA é marcada por múltiplos usos da terra, principalmente agrícolas, que geram conflitos entre áreas protegidas para a conservação de mananciais e outras zonas destinadas a atividades como mineração, loteamentos e silvicultura (Pereira, 2022). O estudo realizado por Harkot et al. (2023) identificou os conflitos socioambientais de uso e ocupação do solo nas margens da represa Itupararanga no município de Ibiúna. Os conflitos envolvem o controle dos recursos naturais, abrangendo ordenamento urbano, problemas sociais e jurídicos; impactos ambientais e sociais resultantes da ação humana e natural, como contaminação, degradação de ecossistemas e risco de esgotamento dos recursos; além de disputas sobre o uso de conhecimentos ambientais e percepções de risco.

4.2 Coleta de dados

4.2.1 Uso e cobertura da terra

Para a classificação do Uso e Cobertura da Terra (UCT) foram utilizadas as bases de dados da plataforma MapBiomas (<https://brasil.mapbiomas.org/>), que produzem mapeamento anual da cobertura e uso da terra a partir de 1985, por meio de mosaicos do LANDSAT com resolução espacial de 30 metros. As bases de dados coletadas pertencem a coleção 8 e foram produzidos mapas para os anos de 1986, 1994, 2001, 2007, 2014 e 2021. As classes originais de UCT identificadas pela plataforma MapBiomas foram reclassificadas seguindo a nomenclatura e paleta de cores do Manual Técnico de Uso da Terra (IGBE, 2013).

4.2.2 Dados Meteorológicos

Foram coletados dados de temperatura e velocidade do vento média diária das estações meteorológicas para os anos analisados, 1986, 1994, 2001, 2007, 2014 e 2021.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define o conceito de "normais climatológicas", que correspondem às médias de parâmetros climáticos calculadas em intervalos de 30 anos, usados para monitorar e comparar variações climáticas ao longo do tempo. Em razão disso, foi determinado uma análise temporal de 35 anos, com intervalos

de 7 anos. A escolha do ano de 1994 e 2001, se dá em virtude da ausência de nuvens nas imagens utilizadas no mesmo período, o que não ocorreu em 1993 e 2000.

Devido à carência de dados de estações meteorológicas dentro da área de estudo, foram coletados dados de 65 estações meteorológicas por todo o Estado de São Paulo, onde 58 estações são do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (20 manuais e 38 automáticas), e 7 são estações automáticas do CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas).

Para se obter os valores médios da velocidade do vento e temperatura para a APA, dos respectivos anos analisados, foi realizada uma interpolação dos dados por meio do método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) (Equação 1) no *software* ArcGIS 10.8.

A ponderação por IQD é um método de interpolação amplamente utilizado nas geociências, aplicável tanto a conjuntos de dados pequenos quanto grandes (Barudžija et al., 2024). O método IQD atribui pesos aos pontos amostrados com base na distância euclidiana horizontal, dando maior influência às amostras próximas. Assim, os valores interpolados refletem mais os pontos de dados vizinhos, garantindo uma estimativa influenciada pela proximidade (Sadeghi et al., 2024).

$$W_{APA} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^2} \times W_a^i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^2} \right)} \quad (1)$$

Onde:

W_{APA} é a temperatura do ar/velocidade do vento interpolados para a APA de Itupararanga;

W_a^i é o valor da temperatura/velocidade do vento o ar da i-ésima localidade vizinha;

D_i é a distância euclidiana entre o i-ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

4.3 Determinação do Calor Sensível

Para o cálculo do calor sensível foi utilizado parte da arquitetura do algoritmo *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL), amplamente adotado para estimativa da evapotranspiração em diferentes áreas. No modelo SEBAL, os fluxos de calor sensível e latente, relacionados a pixels secos e úmidos, desempenham papéis essenciais na estimativa da evapotranspiração (Nikfal; Karimi, 2024). Esse modelo, no processo de quantificação, exige menos dados terrestres e não se restringe a pequenas áreas, o que o torna amplamente utilizado globalmente (Ma et al., 2023).

O fluxo de calor sensível, representado por H , corresponde à taxa na qual o calor é dissipado para a atmosfera por convecção e condução, devido a uma diferença de temperatura (Martins; Rosa, 2019). O fluxo de calor sensível foi calculado conforme Bastiaanssen et al. (1998) pela Equação (2) no *software* ArcGIS 10.8, utilizando a calculadora *raster*.

$$H = \frac{\rho_{ar} \times C_p \times dT}{R_{ah}} \quad (2)$$

Onde:

ρ_{ar} é a densidade do ar (kg/m^3);

C_p é o calor específico do ar (1004 J/kg/K);

dT é a diferença de temperatura entre duas alturas verticais ($z_1 = 0,1\text{m}$ e $z_2 = 2\text{m}$);

R_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (s/m).

Para determinar a densidade do ar, foram utilizadas as Equações (3 e 3a) empregada no estudo de Guahy (2019).

$$\rho = \frac{-0,085x^3 + 1,675x^2 - 10,99x + 24,6}{20} \quad (3)$$

$$x = \frac{h}{5000} \quad (3a)$$

Onde:

h é a altitude média da área de estudo.

A altitude média da área de estudo foi obtida por meio de um MDE (Modelo Digital de Elevação) NASADEM, que representa as altitudes da superfície topográfica da APA de Itupararanga, com resolução espacial de 30 metros.

Inicialmente H foi considerado para estabilidade neutra da atmosfera. No SEBAL, a condição da atmosfera é assumida neutra inicialmente e depois uma correção da estabilidade é aplicada usando o comprimento de Monin-Obukhov (L) como indicador (Waters et al., 2002). Deste modo, foi estimado para a estação meteorológica a velocidade do vento (u_x), interpolada por meio da Equação (1) na altura z_x de medição, comprimento de rugosidade da superfície (z_{0mest}), velocidade de fricção na estação (u_{*e}) (Equação 4) e velocidade do vento a 200 metros de altura (u_{200}) (Equação 5), conforme proposto por Waters et al. (2002).

$$u_{*e} = \frac{ku_{apa}}{\ln\left(\frac{z_{est}}{z_{0mest}}\right)} \quad (4)$$

$$u_{200} = u_* \frac{\ln\left(\frac{200}{z_{0mest}}\right)}{k} \quad (5)$$

Onde:

k é a constante de von Karman (0,41);

u_{apa} é a média da velocidade do vento interpolada para a APA por meio da Equação 1;

z_{est} é a altura da estação (10m);

z_{0mest} é a média do comprimento de rugosidade da superfície nas estações.

Segundo Waters et al. (2002) a velocidade do vento é medida em uma altura acima da estação meteorológica onde não se pode considerar os efeitos da rugosidade da superfície. Essa altitude é conhecida como "altura de mistura" e é convencionalmente definida em 200 metros.

Para determinar o comprimento de rugosidade da superfície (z_{0mest}) na estação, foram utilizados valores já estabelecidos por Waters et al. (2002) para cada tipo de uso do solo na estação (Tabela 1).

Tabela 1 - Comprimento de rugosidade para o tipo de uso do solo.

Uso do solo	z_{0mest}
Área Florestal	0,5
Silvicultura	0,5
Área campestre	0,02
Pastagens	0,02
Áreas urbanizadas	0,2
Água	0,0005

Fonte: Waters et al. (2002).

No entanto, para a APA foi utilizada mais de uma estação meteorológica, deste modo foi obtido e utilizado a média dos valores de z_{0mest} das estações em cada ano analisado, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Comprimento de rugosidade para o tipo de uso do solo na estação meteorológica para cada ano analisado.

Ano	z_{0mest}
1986	0,17
1994	0,15
2001	0,18
2007	0,15
2014	0,16
2021	0,15

Fonte: Elaboração própria.

As variações altimétricas exercem influência na velocidade do vento, portanto, seguindo as recomendações de Waters et al. (2002), a velocidade do vento a 200 metros foi ajustada utilizando um coeficiente de ponderação (ω_{est}) (Equação 6).

$$\omega_{est} = 1 + 0.1 \left(\frac{MDE - Elevação_{est}}{1000} \right) \quad (6)$$

Onde:

MDE é o modelo digital de elevação NASADEM com resolução espacial de 30 metros;

$Elevação_{est}$ é a elevação de cada estação, obtida por meio do *Google Earth Pro*;

Considerando que foi utilizada mais de uma estação e que elas não se encontram dentro da área de estudo, o coeficiente de ponderação foi corrigido levando em conta a influência dos dados das estações sobre a APA de acordo com a distância de cada estação meteorológica até o centroide da APA. Para essa correção foi proposta a Equação (7).

$$\omega_{APA} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{di_{est}}{\sum di_{est}} \times \omega_{est} \right) \quad (7)$$

Onde:

di_{est} é a distância de cada estação até o centroide da APA.

Após a correção de u_{200} para cada pixel multiplicando-o por ω_{APA} , foi calculada a velocidade de fricção para cada pixel (u_*) (Equação 8). Conforme citado por Waters et al. (2002), supõe-se que u_{200} seja constante para todos os pixels da imagem, pois é estabelecido como ocorrendo em uma altura de mistura que não é influenciada pelas características da superfície.

$$u_* = \frac{ku_{200}}{\ln \left(\frac{200}{z_{0m}} \right)} \quad (8)$$

Onde:

z_{0m} é o comprimento específico de rugosidade do momento para cada pixel.

Para determinar os valores de z_{0m} para a APA foi empregado o método adotado por Waters et al. (2002), no qual foram utilizados mapas de uso e cobertura da terra disponibilizados pelo MapBiomas.

Os valores de z_{0m} para características de superfície não agrícolas (como água, floresta, pastagem e área urbana) foram atribuídos valores descritos na Tabela 1. Para as culturas, Waters et al. (2002) recomendam a utilização da Equação (9), portanto foi calculado o comprimento de rugosidade (z_{0m}) apenas para as áreas de agricultura.

$$z_{0m} = 0,018 \times IAF \quad (9)$$

Contudo, foram verificados valores de Índice de Área Foliar (IAF) negativos na APA de Itupararanga, visto que isso implicaria em erros algébricos no cálculo da velocidade de fricção utilizando logaritmo, obteve-se o valor médio do IAF nessas áreas e aplicou-se a Equação 9. Os valores de z_{0m} para culturas temporárias e permanentes para cada ano analisado encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Comprimento de rugosidade para o tipo de cultura na área de estudo por ano.

Ano	Uso do solo	z_{0m}
1986	Culturas Temporárias	0,003
	Culturas Permanentes	0,005

Ano	Uso do solo	z0m
1994	Culturas Temporárias	0,005
	Culturas Permanentes	0,006
2001	Culturas Temporárias	0,006
	Culturas Permanentes	0,004
2007	Culturas Temporárias	0,001
	Culturas Permanentes	0,004
2014	Culturas Temporárias	0,005
	Culturas Permanentes	-
2021	Culturas Temporárias	0,001
	Culturas Permanentes	0,009

Fonte: Adaptado de Waters et al. (2002).

Após estimar da velocidade de fricção, foi calculada a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (R_{ah}) para estabilidade neutra (Equação 10) e a diferença de temperatura (dT) (Equação 11).

$$r_{ah} = \frac{\ln \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)}{u_* \times k} \quad (10)$$

$$dT = (a \times T_s) + b \quad (11)$$

Onde:

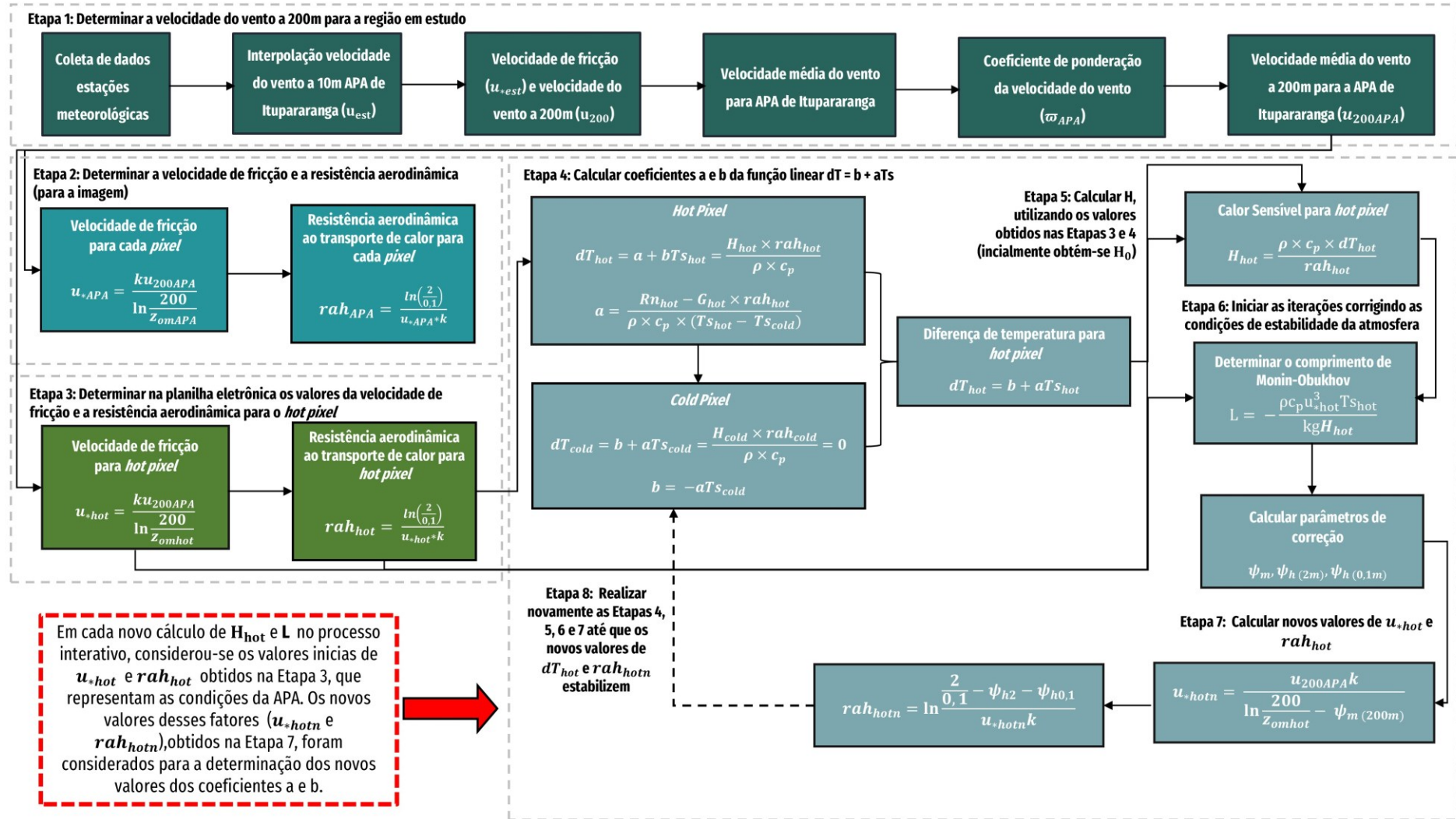
Z_1 e Z_2 são alturas em metros acima do deslocamento do plano zero (d) da vegetação (0,1 m e 2 m, respectivamente);

T_s é a temperatura superficial em Kelvin;

a e b são coeficientes de correlação.

Para determinar esses coeficientes de correlação, o SEBAL utiliza dois pixels “âncora” onde um valor de H final pode ser estimado de forma confiável, estes são os pixels “frio” e “quente” e devem estar localizados na área de estudo. O valor do H final para a área de estudo se deu por meio de um processo iterativo (Figura 3) (Apêndice A).

Figura 3 - Fluxograma processo iterativo para determinação do calor sensível.



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com Waters et al. (2002), a escolha dos pixels deve ser feita com cuidado e devem estar localizados em áreas grandes e homogêneas que contenham mais de 6 pixels. Uda, Corseuil e Kobiyama (2014) descrevem que a escolha dos pixels âncoras (quente e frio) é um ponto chave para a estimativa de dT , sendo que os autores escolheram em sua pesquisa uma área de solo exposto como pixel quente e a superfície de água como pixel frio.

Waters et al. (2002) explicam que na aplicação tradicional do SEBAL de Bastiaanssen, o pixel frio é geralmente selecionado em corpo d'água e parte-se do pressuposto que a evapotranspiração (ET) é o saldo de energia resultante da diferença entre a radiação líquida (R_n) e o calor no solo (G), indicando que toda a energia disponível é direcionada para a evaporação da água, resultando na ausência de calor sensível ($H=0$) para o pixel frio.

O pixel “quente” deve situar-se em uma área agrícola seca e desprovida de vegetação, onde é seguro presumir a ausência de ET, e ter um IAF entre 0 e 0,4, correspondendo a pouca ou nenhuma vegetação (Waters et al., 2002). Para a área de estudo foi selecionada a água como pixel frio e pastagem como pixel quente.

Em seguida foi determinada a condição de estabilidade da atmosfera pelo comprimento de Monin-Obukhov (Equação 12) e os parâmetros de correção $\Psi_m, \Psi_h(2m), \Psi_h(0,1m)$, por conta dos efeitos da flutuabilidade gerados pelo aquecimento da superfície. As características de estabilidade na atmosfera exercem significativa influência na R_{ah} e precisam ser levadas em conta ao calcular o fluxo de H, especialmente em condições de secas (Waters et al., 2002).

$$L = - \frac{\rho c_p u_*^3 T_s}{kgH} \quad (12)$$

Onde:

ρ é a densidade do ar (kg/m^3);

C_p é o calor específico do ar (1004 J/kg/K);

u_*^3 é a velocidade de fricção (m/s);

T_s é a temperatura da superfície (K);

g é a constante da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$);

H é o fluxo de calor sensível (W/m^2).

Os valores de L são responsáveis por determinar as condições de estabilidade da atmosfera. Deste modo, se $L < 0$, a atmosfera é considerada instável; se $L > 0$, a atmosfera é considerada estável; se $L = 0$, a atmosfera é considerada neutra. Considerando que na área de estudo as condições da atmosfera é considerada instável, os valores da correção da estabilidade da atmosfera para o momento e transporte de calor (Ψ_m, Ψ_h) foram calculados pelas Equações 13, 14 e 15 em uma planilha eletrônica do software Excel (Apêndice A).

$$\psi_{m(200m)} = 2 \ln \left(\frac{1 + x_{(200m)}}{2} \right) + \ln \left(\frac{1 + x_{(200m)}^2}{2} \right) - 2 \text{ARCTAN} (x_{(200m)}) + 0,5\pi \quad (13a)$$

$$\psi_{h(2m)} = 2 \ln \left(\frac{1 + x_{(2m)}^2}{2} \right) \quad (14a)$$

$$\psi_{h(0,1m)} = 2 \ln \left(\frac{1 + x_{(0,1m)}^2}{2} \right) \quad (15a)$$

Onde:

$$x_{200} = \left(1 - 16 \frac{200}{L} \right)^{0,25} \quad (13b)$$

$$x_{(2m)} = \left(1 - 16 \frac{2}{L} \right)^{0,25} \quad (14b)$$

$$x_{(0,1m)} = \left(1 - 16 \frac{0,1}{L} \right)^{0,25} \quad (15b)$$

Após a correção da estabilidade da atmosfera, um valor corrigido da velocidade de fricção (Equação 16) foi calculado para cada iteração sucessiva.

$$u_* = \frac{u_{200}k}{\ln \left(\frac{200}{z_{om}} \right) - \psi_{m(200m)}} \quad (16)$$

Onde:

u_{200} é a velocidade do vento a 200 metros (m/s);

k é a constante de von Karman (0,41);

z_{om} é o comprimento específico de rugosidade do momento para cada pixel;

$\psi_{m(200m)}$ é a correção de estabilidade para transporte de momento a 200 metros.

Um valor corrigido para a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (Equação 17) foi calculado para cada iteração.

$$r_{ah} = \frac{\ln \left(\frac{z_2}{z_1} \right) - \psi_h(z_2) + \psi_h(z_1)}{u_* \times k} \quad (17)$$

Onde:

$z_2 = 2$ metros;

$z_1 = 0,1$ metros;

$\psi_h(z_2)$ e $\psi_h(z_1)$ são as correções de estabilidade para transporte de calor a 2 metros e 1 metros (Equação 14);

u_* é a velocidade de fricção corrigida pela Equação 16.

Em seguida foram recalculados os novos valores de dT para o pixel “quente” usando o R_{ah} corrigido. Deste modo, os novos valores para os coeficientes de correlação a e b são calculados e então o dT para o pixel quente é refeito, de modo a estimar um novo valor para H e uma nova correção de estabilidade.

Este processo iterativo foi repetido na planilha eletrônica (Apêndice A) até que os valores sucessivos de dT e R_{ah} no pixel “quente” tenham se estabilizado. Em cada nova iteração, para o cálculo de H e L, considerou-se os valores iniciais de u^* e R_{ah} (pixel quente), os novos valores desses fatores obtidos no processo iterativo são apenas utilizados para determinar os novos valores dos coeficientes a e b.

Para determinar o valor final do fluxo de calor sensível na APA, foi calculado o dT para a área toda com bases nos coeficientes a e b (Tabela 4) obtidos após a estabilização na planilha (Apêndice A) e posteriormente obteve-se H para toda a área de estudo por meio da Equação (2) no software ArcGIS 10.8.

Tabela 4 - Coeficientes de determinação de dT para cada ano.

Ano	a	b
1986	0,687	-199,396
1994	0,585	-168,611
2001	0,469	-136,028
2007	0,426	-123,729
2014	0,432	-125,916
2021	0,367	-107,242

Fonte: Elaboração própria.

4.4 Estatística Zonal

Estatísticas zonais são cálculos descritivos baseados nas células que cruzam um limite espacial, como média, valor máximo, valor mínimo e desvio padrão, para representar os dados dentro de cada zona (Saldanha et al., 2024). Os indicadores estatísticos zonais podem ser ajustados pela proporção da célula que se sobrepõe aos limites geográficos, além de poderem ser ponderados por outras camadas (Saldanha et al., 2024), oferecendo uma análise mais precisa e detalhada dos dados.

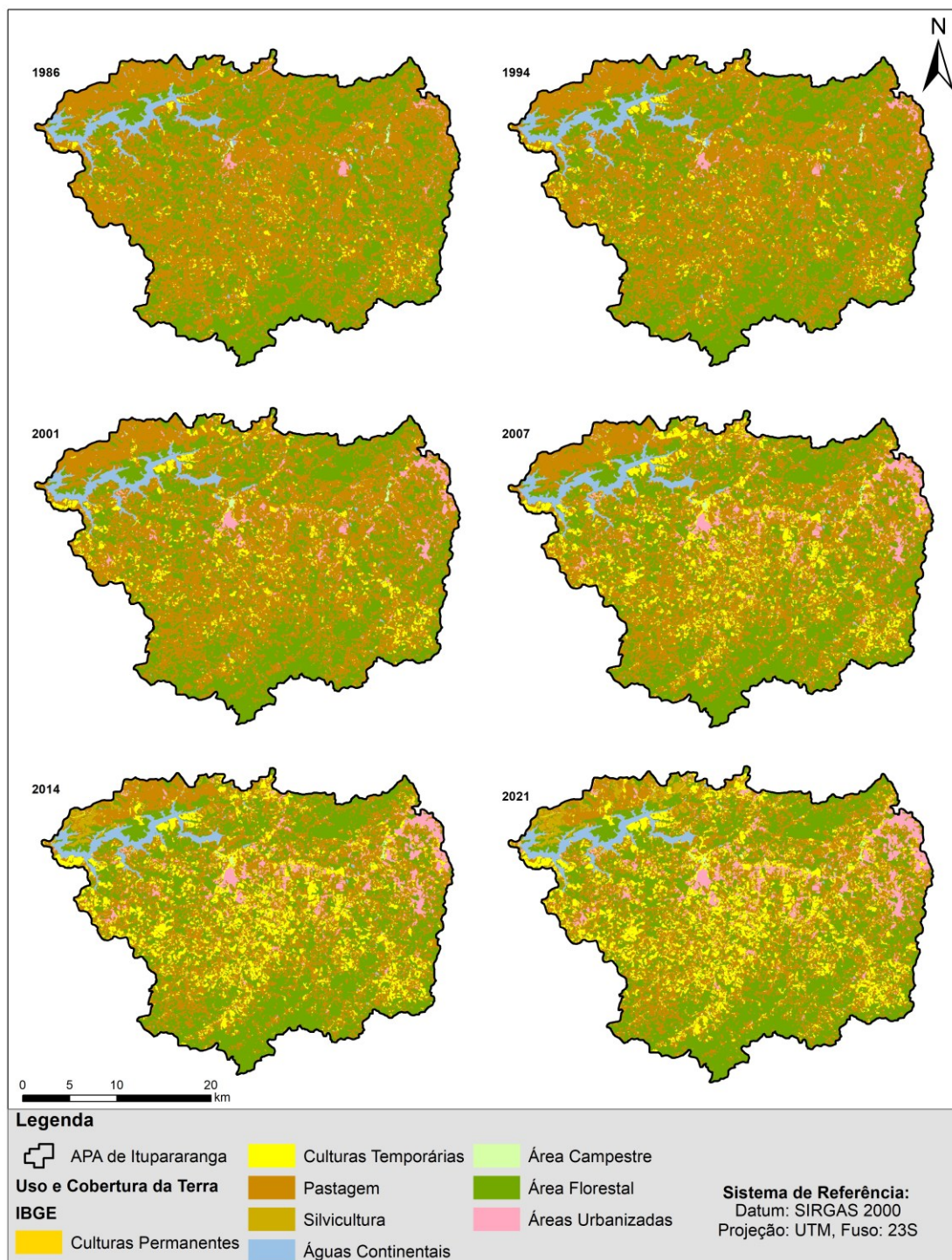
A análise da estatística zonal foi realizada por meio da ferramenta *Zonal Statistics* no ArcGIS 10.8, utilizando como base duas camadas principais. Sendo elas, uma camada *raster* do fluxo de calor sensível e uma camada vetorial composta por polígonos que delimitam as classes de uso e cobertura da terra da APA.

Os valores estatísticos, como máxima, média, mínima e desvio padrão, gerados pela ferramenta foram dispostos em gráficos, permitindo uma análise detalhada sobre a distribuição do calor sensível nas classes de UCT ao longo do tempo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos anos analisados foram identificadas as seguintes classes de uso e cobertura da terra (Figura 4), seguindo a nomenclatura do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): culturas temporárias, culturas permanentes, pastagem, silvicultura, águas continentais, área campestre, área florestal e áreas urbanizadas.

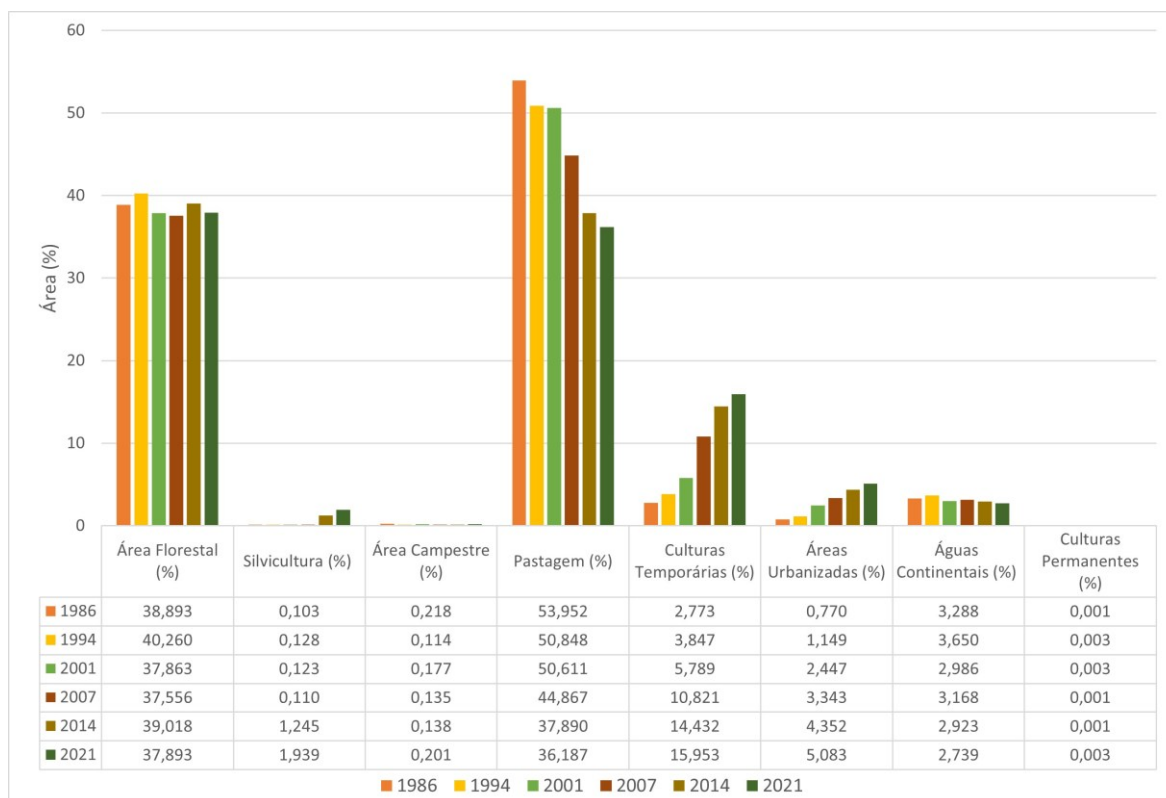
Figura 4 - Uso e Cobertura da Terra na APA de Itupararanga entre 1986 e 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Analisando espacialmente o mapa, é perceptível que culturas temporárias foi a classe que apresentou o maior aumento. Em contrapartida, a classe pastagem se destacou por ser a que obteve a maior redução. A Figura 5 mostra as classes de UCT na APA, durante os anos analisados, e suas áreas ocupadas em porcentagem (%).

Figura 5 - Proporção em % das áreas ocupadas por cada classe na APA de Itupararanga entre 1986 e 2021.

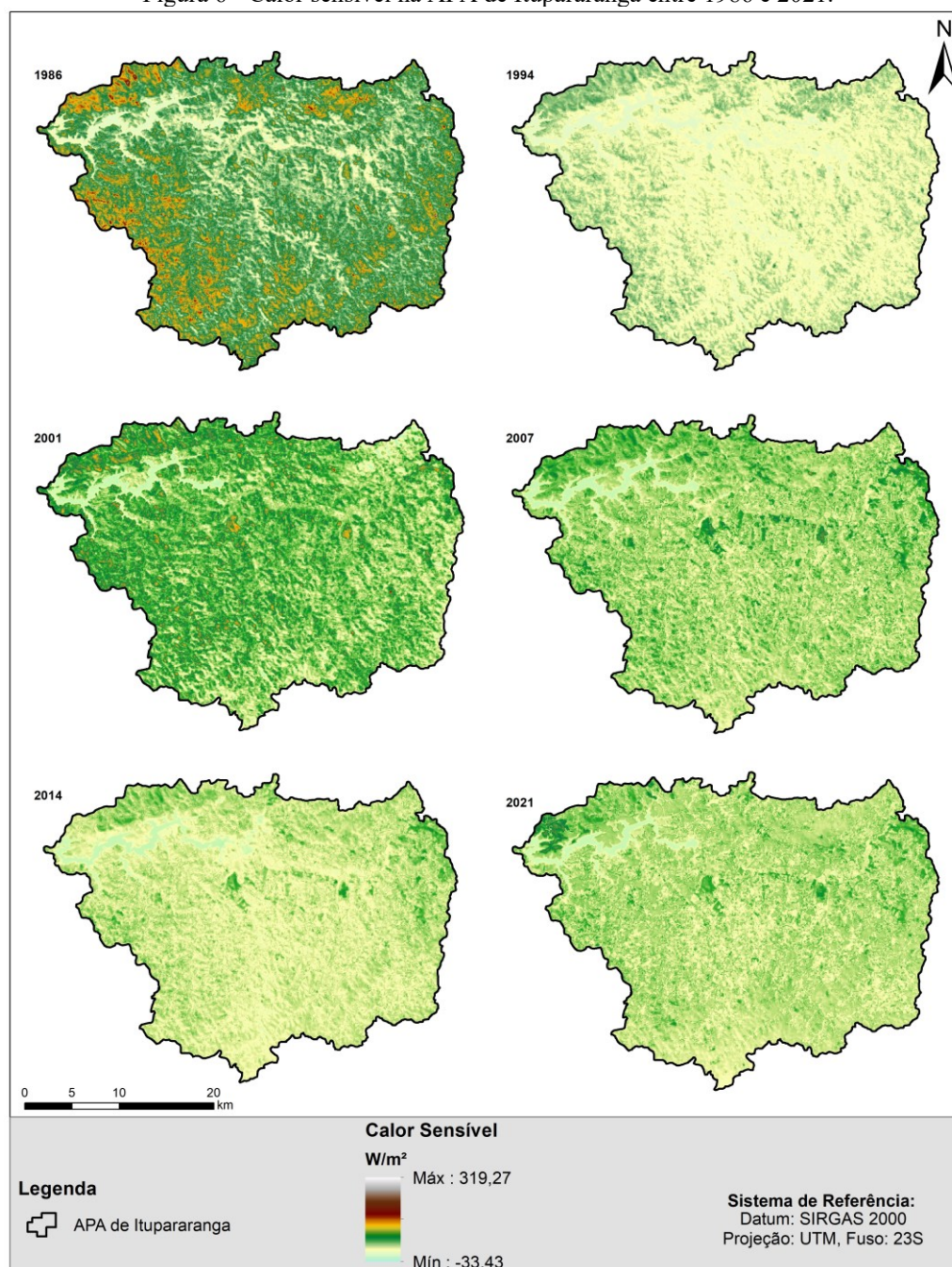


Fonte: Elaboração própria.

Entre 1986 e 2021, as culturas temporárias aumentaram de 2,7% para 15,9%, o que significa um incremento de 488,89%, seguida das áreas urbanizadas com 0,7% para 5% (614,29%) e silvicultura de 0,1% para 1,9% (1800%). Por outro lado, as classes de pastagem, águas continentais e área florestal obtiveram redução na sua área, de 53,9% para 36,1%, 3,2% para 2,7% e 38,8% para 37,8%, respectivamente. As classes de UCT culturas permanentes e área campestre não tiveram aumento ou redução significativas.

O aumento considerável nas classes de UCT, como culturas temporárias e áreas urbanizadas, e redução na pastagem ao longo na série histórica estudada, influenciaram substancialmente o calor sensível na área em estudo. A Figura 6 apresenta a distribuição espaço-temporal do calor sensível entre 1986 e 2021 na APA de Itupararanga.

Figura 6 - Calor sensível na APA de Itupararanga entre 1986 e 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que houve uma diminuição no calor sensível na APA de Itupararanga de 1986 para 2021, reduzindo de uma média de 60,80 W/m^2 em 1986 para 29,82 W/m^2 em 2021, o que significou uma queda de aproximadamente 51% do calor sensível na área de estudo. Os anos de 1994 e 2014 registraram as menores médias, com destaque para 1994 que apresentou a menor média de toda a série com 20,77 W/m^2 e 2014 com 25,11 W/m^2 .

Dos anos analisados, 1994 foi o ano que apresentou os menores valores para o calor sensível, além da média, a máxima (85,80 W/m^2) e a mínima (-33,42 W/m^2) também foram

as mais baixas de todos os anos. Valores negativos no fluxo de calor sensível indicam um processo de resfriamento, no qual a superfície terrestre está perdendo calor para a atmosfera, geralmente associados a processos de evaporação e transpiração.

Apesar deste ano ter sido caracterizado por um período de *El Niño*, este comportamento pode ser explicado pela influência de um inverno mais intenso.

Durante o período prolongado do fenômeno *El Niño*, que ocorreu de 1990 a 1994, os padrões climáticos que influenciam o Brasil apresentaram comportamento incomum (Cavalcanti, 1996). Segundo Marengo e Oliveira (1998), foram observados casos de eventos fortes de geadas em junho e julho de 1994. Entre os meses de maio e agosto de 1994, ocorreram 14 episódios de ar frio, os quais provocaram impactos, incluindo geadas e neve, na região sul do Brasil, onde algumas dessas massas de ar frio avançaram em direção ao Equador, alcançando até o sul da Amazônia (Marengo et al., 1997).

A onda de frio de junho de 1994 se destacou como a mais severa daquele ano, atingindo o sudeste do Brasil e partes do sul e oeste da Amazônia, os eventos subsequentes em julho e agosto mostraram padrões climáticos semelhantes, porém com intensidade inferior à registrada em junho (Marengo et al., 1997). Conforme informações do Climatempo (2021), dentre as 10 temperaturas mais baixas já registradas pelo INMET em São Paulo, na estação meteorológica do Mirante de Santana, quatro foram observadas durante o inverno de 1994, sendo duas em junho e duas em julho.

A estação Mirante de Santana é a mais próxima da área de estudo para o ano de 1994, com 61,17 km de distância até o centroide da APA, o que corrobora para a hipótese de que os níveis baixos de calor sensível no ano de 1994 estão associados as baixas temperaturas e um inverno mais intenso neste ano. Pois, temperaturas e insolação mais baixas influenciam o fluxo energético, uma vez que há menos energia no sistema, os componentes do balanço energético apresentam menores valores. Nos meses mais frios, quando a quantidade de radiação total proveniente de todas as ondas fornece menos energia ao sistema, os fluxos de calor sensível durante o dia diminuem consideravelmente (Kotthaus; Grimmond, 2014).

Verifica-se a tendência (Figura 7) de diminuição do calor sensível na APA de Itupararanga ao longo do período analisado. A linha de tendência da máxima obteve um $R^2 = 0,50$, ou seja, 50% da variação da variável dependente (calor sensível) pode ser explicada pela variável independente (tempo em anos), indicando uma correlação moderada entre as variáveis. Deste modo, pontua-se que houve uma tendência significativa na diminuição da máxima do calor sensível na APA ao longo do tempo. No entanto, os dados revelaram uma tendência ascendente nos valores mínimos do calor sensível ao longo do tempo, obtendo um

$R^2 = 0,33$, indicando que cerca de 33% da variação dos valores mínimos do calor sensível pode ser explicada pela variável independente, evidenciando uma tendência de aumento na mínima do calor sensível na área de estudo ao longo dos anos.

Figura 7 - Tendência do calor sensível na APA de Itupararanga.



Fonte: Elaboração própria.

A linha de tendência da média do calor sensível obteve aproximadamente um $R^2 = 0,33$, sendo 33% da variação do calor sensível pode ser explicada pela variação do tempo, indicando uma predisposição de queda na média do calor sensível na APA de Itupararanga ao longo dos anos. Ao observar a linha de tendência do desvio padrão, verifica-se uma propensão de redução ao longo dos anos, obtendo-se um R^2 aproximado de 0,54, ou seja, 54% da variação do desvio padrão pode ser explicada pelos anos, sugerindo uma relação moderadamente forte, podendo indicar uma redução na dispersão dos dados em torno da média à medida que a variável independente aumenta.

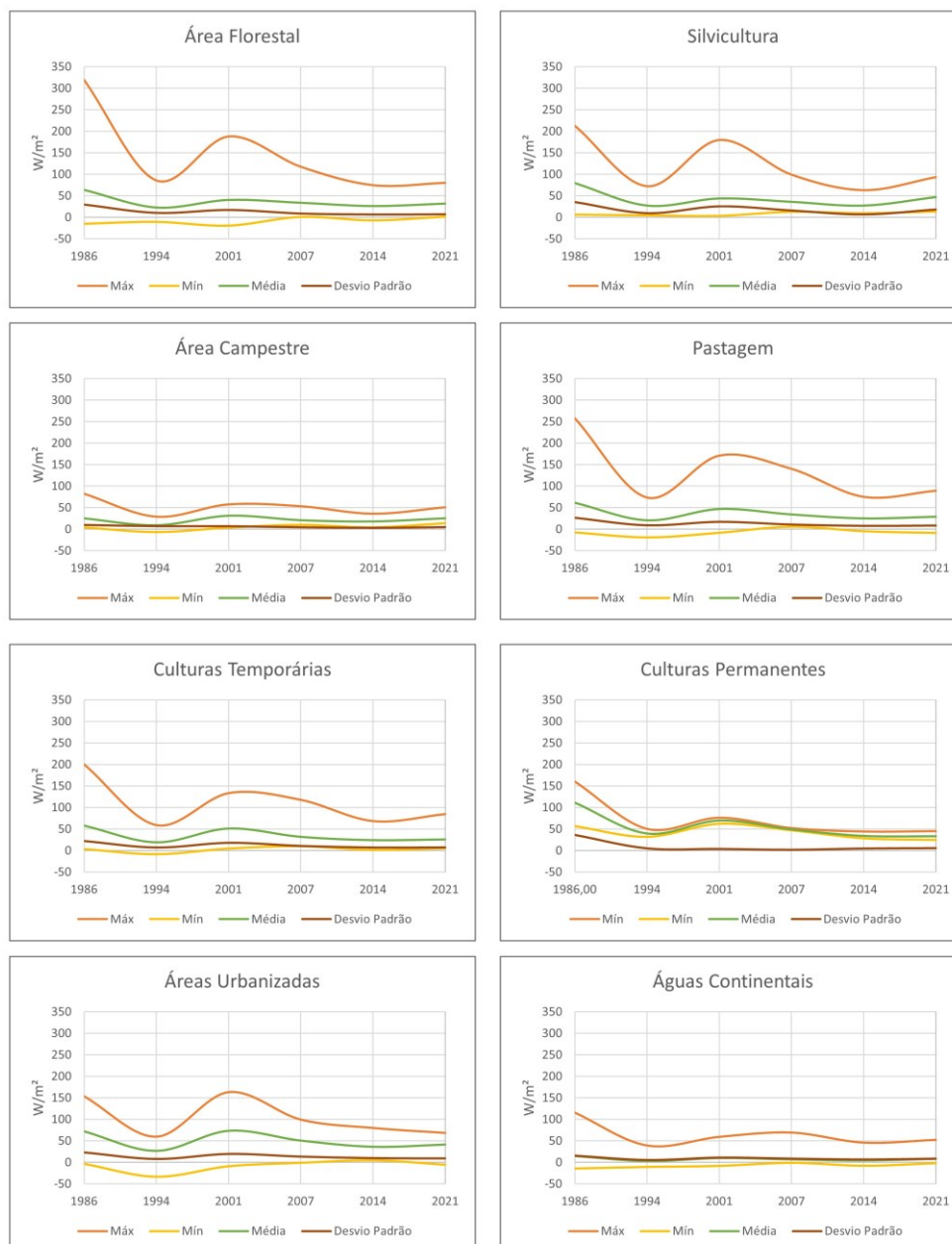
Os valores relativamente baixos de R^2 podem ser explicados pelo fato do ano de 1994 apresentar os menores valores da série histórica, visto que esse ano foi considerado um ano atípico de *El Niño* que apresentou um inverno mais rigoroso e consequentemente um calor sensível menor, logo pode ter apresentado influência significativa na conformação da linha de tendência, destacando-se como um período crítico que moldou os padrões observados.

As mudanças no uso e cobertura da terra têm impacto significativo nas características da superfície terrestre, resultando em modificações no balanço energético (Pielke et al., 2002; Parbaleh; Kaboli, 2023). Essas mudanças alteram a radiação solar líquida superficial

(R_n), afetando a distribuição de cada elemento do balanço energético, como o fluxo de calor no solo (G), o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (LE) (Parbaleh; Kabali, 2023).

A Figura 8 apresenta os gráficos da estatística zonal entre as classes de UCT identificadas na APA em relação ao calor sensível de cada ano analisado, evidenciando a relação entre calor sensível, uso e cobertura da terra e tempo.

Figura 8 - Estatística zonal do calor sensível em função do uso e cobertura da terra.



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que houve diminuição no calor sensível em praticamente todas as classes de UCT, com destaque para área florestal, que saiu de uma máxima de 319,27 W/m^2 para

80,17 W/m², apresentando uma redução de aproximadamente 74,89%. A média passou de 63,80 W/m² para 31,65 W/m², uma redução de 50,39%. Já a mínima aumentou de -15,22 W/m² para 1,35 W/m², resultando em um aumento de 108,87% na mínima do calor sensível.

As florestas exercem influência no clima, afetando o equilíbrio hídrico e energético da superfície terrestre (Bosman et al., 2018), reduzindo significativamente a incidência da radiação solar e diminuindo os fluxos turbulentos de calor (Stuenzi et al., 2021).

Wanderley et al. (2019), concluíram que em sua área de estudo, composta por Mata Atlântica, sugere a presença de características regulatórias que contribuem para a atenuação das temperaturas, oferecendo um serviço climático local com possíveis efeitos na mitigação do aquecimento global.

Apesar de ter uma redução nas áreas florestais na APA, observou-se também uma considerável diminuição no calor sensível, a qual pode estar vinculada ao reflorestamento, dado que, ao longo da série temporal analisada observou-se uma oscilação entre o aumento e redução das áreas florestais, podendo o reflorestamento ter contribuído para a redução do calor sensível. Caballero et al. (2022) observaram o aumento da precipitação anual e da evapotranspiração na estação chuvosa em áreas de Mata Atlântica, os autores descreveram que este aumento ocorre provavelmente devido ao reflorestamento.

Outros dois fatores importantes são a série temporal analisada (1986 a 2021), e a porcentagem de redução dessas áreas durante esse intervalo, sendo observada uma redução de 2,58% do total da área florestal entre 1986 e 2021. De acordo com Caballero et al. (2022), as principais mudanças no bioma Mata Atlântica, desmatamento de florestas para agricultura, ocorreram antes de 1985, e em 2020 apenas 7% das terras agrícolas eram florestas em 1985.

A silvicultura demonstrou uma redução (56,09%) em sua máxima de 212,59 W/m² para 93,35 W/m², em 41,46% na média de 79,74 W/m² para 46,68 W/m² e aumentou em 121,44% na mínima, partindo de 6,11 W/m² para 13,53 W/m². O aumento das áreas de silvicultura na APA, de 0,1% para 1,9%, contribuiu para a diminuição do fluxo de calor sensível. A silvicultura possui uma parte considerável de umidade devido à vegetação, ao solo úmido e à camada orgânica presente nesses tipos de florestas. Essa camada retém calor, enquanto a transpiração das plantas e a evaporação da água pelas folhas contribuem para a redução do calor sensível.

Silva (2021), em seu estudo na bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha, identificou que os menores valores de temperatura de superfície foram em áreas de florestas plantadas e formação florestal. Padovanni et al. (2018) analisaram a temperatura e albedo de superfície

da bacia hidrográfica do Rio Una, o qual faz parte da APA de Itupararanga, e identificaram que as áreas de silvicultura e florestas foram aquelas que apresentaram os menores valores se comparado as outras classes de uso e cobertura do solo.

A área campestre apresentou redução na máxima de 38,44%, com 82,39 W/m² para 50,72 W/m² e um aumento na média de 1,08% e na mínima de 240,38%, saindo de 24,93 W/m² para 25,20 W/m² e de 4,16 W/m² para 14,16 W/m², respectivamente. A umidade do solo presente nas áreas campestres é um fator determinante na redução do calor sensível, uma vez que essas áreas na APA são formadas por campo alagado e área pantanosa. Segundo o estudo realizado por Souza et al. (2019) na bacia do Rio Una, durante o período chuvoso, a umidade do solo variou entre 5% e 23%, sendo maior em áreas campestres, originária de comunidades aluviais, como campos alagados. No período seco, oscilou de 3% a 17%, com melhores condições em áreas florestadas.

A pastagem reduziu a máxima do calor sensível em 65,56%, a média em 52,94% e a mínima em 15,98%, partindo da máxima de 258,10 W/m² para 88,88 W/m², média de 61,58 W/m² para 28,98 W/m² e mínima de -7,57 W/m² para -8,78 W/m². As pastagens são mais suscetíveis ao aquecimento causado pelas mudanças climáticas do que outros ecossistemas (Rubert et al., 2022). Liu et al. (2019) indicam que a conversão de terras agrícolas em pastagem resultou em interações complexas entre a vegetação e os fluxos de energia na superfície, alterando as propriedades biofísicas e fisiológicas da cobertura do solo. As pastagens possuem menor Índice de Área Foliar (IAF) e raízes superficiais, o que limita a evapotranspiração (ET), o que tem como consequência um aumento do calor sensível (Lin et al., 2022).

A classe de culturas temporárias também apresentou redução na sua máxima e sua média, partindo de 200,18 W/m² para 84,61 W/m² e 57,54 W/m² para 25,37 W/m², respectivamente. Essa redução foi de 57,73% para a máxima e 55,91% para a média, a mínima por outro lado apresentou um aumento no calor sensível de 3,49 W/m² para 5,16 W/m², sendo esse aumento 47,85%.

As culturas permanentes obtiveram uma redução de 71,99% na sua máxima do calor sensível, de 160,33 W/m² para 44,91 W/m². A média e a mínima também apresentaram redução nas áreas de culturas permanentes, sendo de 110,96 W/m² para 33,20 W/m² (70,08%) para a média e de 56,88 W/m² para 24,35 W/m² (57,19%) à mínima.

Através dos processos biogeoquímicos e biofísicos as culturas podem modificar o balanço de energia local, alterando o clima regional e até global. A irrigação das culturas pode causar resfriamento local ao aumentar o fluxo de calor latente, enquanto a lavoura pode

provocar aquecimento devido à redução do albedo do solo (Lombardozzi et al., 2018). As atividades relacionadas ao cultivo, a gestão de resíduos agrícolas e o uso de culturas de cobertura também podem modificar as características biogeofísicas das terras agrícolas, influenciando a retenção de umidade do solo, o albedo e as temperaturas regionais (Lombardozzi et al., 2020).

Nas áreas urbanizadas observa-se que houve uma diminuição na máxima, média e mínima. A máxima reduziu em 55,14%, partindo de 153,18 W/m² para 68,71 W/m², a média em 42,28%, saindo de 71,95 W/m² para 41,53 W/m² e a mínima decaiu em 56,34%, de -3,55 W/m² para -5,55 W/m².

O aumento populacional e consequentemente o incremento da expansão da área urbana afeta diretamente o clima urbano, a conversão de áreas naturais para áreas urbanizadas está fortemente ligada ao fenômeno conhecido como ilhas de calor. Segundo Mendes (2024), as áreas urbanizadas foram uma das classes que mais contribuíram para o aumento da temperatura na APA de Itupararanga, colaborando para a formação das ilhas de calor.

O crescimento populacional e atividades humanas acentuam os efeitos da ilha de calor urbana em cidades tropicais em rápido desenvolvimento, alterando o microclima regional e as condições ambientais (Sultana; Satyanarayana, 2018). A mudança no Uso e Cobertura da Terra urbano modifica o equilíbrio energético e hidrológico da atmosfera, resultando em temperaturas superficiais mais elevadas nas cidades em comparação com áreas rurais, devido à menor cobertura vegetal (Harmay et al., 2021).

As áreas classificadas como águas continentais mostraram uma redução na máxima e média, de 54,60% e 42,87%, respectivamente. A máxima do calor sensível nesta classe passou de 115,60 W/m² para 52,68 W/m², a média de 15,07 W/m² para 8,61 W/m² e a mínima passou de -14,39 W/m² para -2,08 W/m², tendo um aumento de 85,55%. A água possui alta capacidade calorífica e baixa condutividade térmica, com a evaporação sendo o principal mecanismo de resfriamento (Yu et al., 2020). Ainda, segundo os autores, a água e a vegetação atuam como dissipadores de calor, os seus resultados sugerem que a água constantemente funciona como uma "ilha fria" na cidade, desempenhando um papel significativo no resfriamento do ambiente em sua volta.

A diminuição das áreas de pastagem na APA, que dominavam praticamente metade dos limites territoriais da área de estudo, saindo de 53,9% para 36,1% (Figura 5), colaborando para a diminuição do calor sensível, pois pastagens são mais susceptíveis à seca extrema do que as florestas, uma vez que possuem um sistema radicular mais superficial,

levando a um esgotamento rápido da umidade do solo nas camadas superiores, o que influencia as mudanças no vapor de água e nos fluxos de energia (Alves et al., 2022).

A soja e a cana de açúcar foram alguns dos cultivos identificados como culturas temporárias na APA de Itupararanga. No entanto, segundo a Fundação Florestal (2009), o uso agrícola na região é intensivo, sendo predominantemente caracterizado por pequenos proprietários, com uma média de 4,5 alqueires, que se dedicam ao cultivo de morango, cebola, batata, tomate e outras hortaliças. O município de Ibiúna é um dos principais responsáveis pelo fornecimento de hortaliças para as centrais de abastecimento das regiões metropolitanas de São Paulo e Sorocaba (Fagliari, 2017).

Segundo a Embrapa a demanda hídrica da cultura de soja varia entre 450 e 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, manejo da cultura e duração do ciclo. Segundo Doorenbos e Kassam (1979) os valores da necessidade hídrica da cana-de-açúcar variam entre 1500 e 2500 mm/ciclo, um estudo realizado por Avilez et al. (2018) no noroeste paulista mostrou que a necessidade hídrica da cana pode chegar até 1595 mm/safra.

Em função deste contexto, o aumento das áreas de culturas temporárias, de 2,7% para 15,9% (Figura 5), exerceu influência sobre a diminuição no calor sensível durante os anos analisados em razão dessas áreas serem mais úmidas devido à constante irrigação em função da demanda hídrica que essas culturas necessitam. O impacto principal da irrigação é devido às alterações no orçamento da radiação local, aumentando o calor latente devido à umidade superficial, o que resulta em um resfriamento local e uma redução do fluxo de calor sensível (Huber; Mechem; Brunssel, 2014).

Adegoke et al. (2003), utilizaram em sua pesquisa um modelo para realizar simulações em quatro cenários diferentes de cobertura do solo e apontaram um resfriamento na temperatura próxima ao solo e aumentos significativos nos fluxos de vapor e calor latente na atmosfera em resposta a essa interferência humana na paisagem, concluindo que essas alterações estão relacionadas a conversão da vegetação natural a áreas agrícolas irrigadas e secas. Os resultados ainda mostram que os dados da média mensal da estação de crescimento e da temperatura máxima média mensal para o local irrigado revelaram uma tendência decrescente constante, enquanto contrastam com uma tendência crescente observada no local não irrigado.

No estudo realizado por Bastiaanssen (2000), o SEBAL é empregado para determinar os fluxos de calor sensível e latente em uma bacia irrigada na Turquia. Em agosto, onde a maior parte dos campos de algodão são irrigados, o fluxo de calor sensível foi mais baixo e uniforme, pois a irrigação nessa faixa é bastante uniforme e as perdas de calor para a

atmosfera são mínimas. Ainda neste estudo, o autor refere que o balanço energético demonstrou em junho uma radiação solar maior, o que resultou em uma maior disponibilidade de energia líquida em comparação com agosto. Devido ao pico de radiação solar ocorrer fora da época de irrigação, os fluxos de calor sensível são consideravelmente elevados e os fluxos de calor latente são reduzidos durante o mês de junho (Bastiaanssen, 2000).

Meijninger e Bruin (2000) verificaram em um estudo conduzido em uma área irrigada no oeste da Turquia, cuja principais culturas são uvas, algodão e árvores frutíferas que o fluxo de calor sensível é cerca de 150 W/m^2 menor por volta do meio-dia em agosto do que em junho. Os autores justificam esse efeito devido à irrigação que acontece no mês de agosto, que é o mês mais quente no hemisfério Norte. No estudo elaborado por Burba et al. (1999), o fluxo de calor sensível representou uma fração menor do orçamento energético durante a maior parte da estação de cultivo. Apesar das áreas de culturas permanentes não apresentaram aumento significativo, saindo de 0,001% para 0,003% (Figura 5), as práticas de irrigação ao longo do tempo e um solo mais úmido, podem ter sido um fator influenciável na redução do H.

A irrigação apresenta influência para além do calor sensível, pois pode interferir em todo um sistema climático local ou regional. A umidade do solo aumenta com a irrigação, e isso pode provocar um incremento na precipitação devido à maior disponibilidade de umidade e energia para convecção, no entanto, também pode estabilizar a atmosfera e inibir chuvas devido ao resfriamento evaporativo (Yang et al., 2019). O efeito da irrigação nas chuvas não se limita apenas às áreas irrigadas, podendo influenciar em escalas regionais (Yang et al., 2019).

O crescimento das áreas urbanizadas, de 0,77% para 5,08% (Figura 5), apresentaram um comportamento incomum no calor sensível, dado que houve uma diminuição do H em áreas urbanizadas, pois segundo Rios e Ramamurthy (2022), nas áreas urbanas, a alteração antropogênica da cobertura do solo diminui a capacidade de retenção de água, o que resulta em um aumento significativo do calor sensível e do armazenamento de calor no balanço energético superficial urbano. Essa redução pode estar relacionada a impermeabilidade do solo, áreas verdes, mas principalmente por essas áreas estarem mais próximas de áreas de cultivos que anteriormente eram áreas destinadas à pastagem.

Apesar do calor sensível ter diminuído de modo geral nas áreas urbanas, ainda se observa que essa classe de UCT apresentou as maiores médias de calor sensível ao longo dos anos (Figura 7). Ainda se observa que em algumas áreas urbanas o calor sensível

aumentou, mesmo que esse aumento seja concentrado em algumas áreas específicas e não a área urbana como um todo, evidenciando que as alterações do solo decorrentes da urbanização favorecem o aumento do calor sensível e a retenção de calor no equilíbrio energético da superfície urbana.

Shen et al. (2023) descrevem em sua pesquisa que a urbanização geralmente leva a um aquecimento global anual da superfície em $0,054\text{ }^{\circ}\text{C}$ em todo o mundo e áreas densamente povoadas como leste da Ásia, América e Europa tem um efeito de aquecimento aumentado. Os autores ainda descrevem que o aumento do calor sensível junto com outros componentes regula o aquecimento da superfície nas áreas urbanas. Durante o período de previsão 2001-2035, as variações no fluxo do balanço energético superficial e na magnitude do aquecimento mostram cerca de duas vezes mais do que na fase histórica (1985-2018), consideravelmente mais elevadas no verão. Isto está associado ao facto da urbanização global acelerada desde o século XXI e à expansão potencialmente mais rápida das áreas urbanas no futuro. O estudo realizado por Jin et al. (2023) em uma bacia hidrográfica no sul da China, mostraram um aumento no calor sensível e nos fluxos de calor do solo em consequência das rápidas mudanças no uso da terra na área de interface urbano-rural entre 2001 e 2019.

6 CONCLUSÃO

A análise espaço-temporal do calor sensível na APA revelou uma redução geral ao longo do período estudado, diminuição considerável nas classes de culturas temporárias, influenciadas pela irrigação constante, e áreas urbanizadas, caracterizadas pelas características higrótérmicas dos materiais que as constituem, juntamente com a redução na área de pastagem, demonstram mudanças substanciais no calor sensível na região, destacando a importância de considerar os efeitos do uso da terra na dinâmica do balanço energético superficial.

Apesar da redução, as áreas urbanas se destacam como a classe que obteve as maiores médias para o calor sensível, evidenciando que a urbanização contribuiu para aumento do calor no balanço energético superficial.

Áreas de pastagem se mostraram como uma das classes de UCT com calor sensível mais expressivo, contribuindo consideravelmente para o aumento da temperatura local. As classes de culturas temporárias e águas continentais contribuíram para controle do balanço energético, influenciando na atenuação do calor sensível.

A análise temporal do calor sensível revela uma diminuição geral ao longo do período estudado, com variações interanuais significativas. O ano de 1994 se destaca por apresentar os menores valores de calor sensível, atribuídos a condições climáticas atípicas. Essas variações ressaltam a complexidade dos processos atmosféricos e hidrológicos e destacam a necessidade de considerar essas variabilidades em estudos futuros.

O uso e cobertura da terra exerce um papel fundamental na modulação do calor sensível, influenciando diretamente na regulação climática e condições térmicas da região. As mudanças na UCT ao longo dos anos causaram impactos significativos na variabilidade do calor sensível, o aumento e/ou redução de algumas classes, bem como na substituição de algumas classes de UCT por outras, levaram a um comportamento decrescente do fluxo de calor sensível na APA.

Este estudo contribui para os gestores públicos permitindo a implementação de políticas públicas que favoreçam a qualidade do ambiente urbano e, principalmente das Áreas de Proteção Ambiental. Entender essa relação é fundamental para tomada de decisões para o planejamento urbano, controle climático e sustentabilidade, auxiliando no zoneamento e mitigação e adaptação dos efeitos adversos ocasionados pelas atividades antrópicas.

REFERÊNCIAS

Abunnasr, Y.; Mhawej, M.; Chrysoulakis, N. SEBU: A novel fully automated Google Earth Engine surface energy balance model for urban áreas. **Urban Climate**, v. 44, 101187, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101187>.

Adegoke, J. O.; Pielke Sr, R. A.; Eastman, J.; Mahmood, R.; Hubbard, H. G. Impact of Irrigation on Midsummer Surface Fluxes and Temperature under Dry Synoptic Conditions: A Regional Atmospheric Model Study of the U.S. High Plains. **American Meteorological Society**, v. 131, p. 556-564, 2003. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<0556:IOIOMS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<0556:IOIOMS>2.0.CO;2).

Alves, A. M. **Fatores indicativos de alterações climáticas associados à exploração petrolífera onshore na Bacia Potiguar**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, p. 106, 2018.

Alves, J. D. N.; Ribeiro, A.; Rody, Y. P.; Loos, R. A. Energy balance and surface decoupling factor of a pasture in the Brazilian Cerrado. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 319, 108912, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108912>.

Avilez, A. M. A.; Hernandez, F. B. T.; Bispo, R. C.; Giovanelli, L. B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 171-188, 2018. doi: <https://doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p171-188>.

Barudžija, U.; Ivšinović, J.; Malvić, T. Selection of the Value of the Power Distance Exponent for Mapping with the Inverse Distance Weighting Method—Application in Subsurface Porosity Mapping, Northern Croatia Neogene. **Geosciences**, v. 14, n. 6, p. 155, 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/geosciences14060155>.

Bastiaanssen, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4).

Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4).

Bellard, C.; Leclerc, C.; Leroy, B.; Bakkenes, M.; Veloz, S.; Thuiller, W.; Courchamp, F. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 12, p. 1376-1386, 2014. doi: <https://doi.org/10.1111/geb.12228>.

Benestad, R. E.; Lussara, C.; Lutz, J.; Dobler, A.; Landgren, O.; Haugen, J. E.; Mezghani, A.; Casati, B.; Parding, K. M. Global hydro-climatological indicators and changes in the global hydrological cycle and rainfall patterns. **The PLOS Climate**, v. 1, n. 6, 2022. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000045>

Bernadi, I.; Silva, L. R.; Falco, P.; Pires, J. S. R.; Santos, A. C. A. Análise comparativa das ferramentas de gestão: Plano de Manejo da APA Itupararanga e os Planos Diretores Municipais. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 75-91, 2020. doi: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-36541>.

Bosman, P. M.; Van Heerwaarden, C. C.; Teuling, A. J. Sensible heating as a potential mechanism for enhanced cloud formation over temperate forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 145, n. 719, p. 450-468, 2019. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.3441>.

Burba, G. G.; Verma, S. B. Kim, J. Surface energy fluxes of *Phragmites australis* in a prairie wetland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 94, p. 31-51, 1999. doi: [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00007-6).

Caballero, C. B.; Ruhoff, A.; Biggs, T. Land use and land cover changes and their impacts on surface-atmosphere interactions in Brazil: A systematic review. **Science of the Total Environment**, v. 808, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152134>.

Cavalcanti, I. F. de A. Episódios de El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Climanálise**, São José dos Campos, 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/nino.html>. Acesso em: 08 de mai. 2024.

Chen, J.; Chen, H.; Du, X.; Wang, R. Retrieval of Surface Energy Fluxes Considering Vegetation Changes and Aerosol Effects. **Remote Sensing**, v. 16, n. 4, p. 668, 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/rs16040668>

Church, R. L. Geographical information systems and location Science. **Computers & Operations Research**, v. 29, n. 6, p. 541-562, 2002. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00104-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00104-5)

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Disponível em: <http://www.ciiagro.org.br/>. Acesso em: 08 de mai. 2024.

CLIMATEMPO. Histórias geladas: as ondas de frio de 1975 e 1994. 2021. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2021/07/31/historias-geladas-as-ondas-de-frio-de-1975-e-1994-1160>. Acesso em: 08 de mai. 2024.

Das, N.; Mondal, P.; Sutradhar, S.; Ghosh, R. Assessment of variation of land use/land cover and its impact on land surface temperature of Asansol subdivision. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 24, n. 1, p. 131-149, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.05.001>

Doorenbos, J.; Kassan, A. H. FAO, Yield response to water. **FAO. Irrigation and Drainage Paper**, 33. Rome, 1979. 193p.

Duveiller, G.; Hooker, J.; Cescatti, A. The mark of vegetation change on Earth's surface energy balance. **Nature Communications**, v. 9, n. 679, 2018. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02810-8>

EMBRAPA. Soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/exigencias-climaticas/agua#:~:text=A%20necessidade%20total%20de%20%C3%A1gua,da%20dura%C3%A7%C3%A3o%20do%20seu%20ciclo>. Acesso em: 08 de mai. 2024.

Fagliari, G. S. **A produção de um espaço especializado no entorno da Região Metropolitana de São Paulo: análise dos condomínios de segunda residência da Rodovia Bunjiro Nakao**. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro, p.271, 2017.

Faichia, C.; Tong, Z.; Zhang, J.; Liu, X.; Kazuva, E.; Ullah, K.; Al-Shaibah, B. Using RS Data-Based CA–Markov Model for Dynamic Simulation of Historical and Future LUCC in Vientiane, Laos. **Sustainability**, v. 12, n. 20, 2020. doi: <https://doi.org/10.3390/su12208410>.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. Plano de manejo da Área De Proteção Ambiental (APA) Itupararanga. 2009. Disponível em: <https://fflorestal.sp.gov.br/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-apa-itupararanga/>. Acesso em: 08 de mai. 2024.

Gogoi, P. P.; Vinoj, V.; Swain, D.; Roberts, G.; Dash, J.; Tripathy, S. Land use and land cover change effect on surface temperature over Eastern India. **Scientific Reports**, v. 9, n. 8859, 2019. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45213-z>

Guahy, R. A. D. **Análise comparativa de metodologias para cálculos em efeito solo, empregando três configurações alares retangulares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p.180, 2019.

Han, X.; Zhang, B.; Zhou, Q.; Chen, H.; Li, Y.; Wei, Z.; Du, T. Comparison of the differences of sensible heat flux observation methods at different spatial scales in North China Plain. **Arabian Journal of Geoscience**, v. 14, n. 98, 2021. doi: <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06460-5>

Harkot, O. A. M. G.; Ruiz, M. S.; Shibao, F. Y.; Santos, M. R. Conflitos socioambientais relacionados ao uso do solo em torno da represa itupararanga, Ibiúna, SP. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 8, p. 13273-13294, 2023. doi: <http://doi.org/10.7769/gesec.v14i8.2477>

Harmay, N. S. M.; Kim, D.; Choi, M. Urban Heat Island associated with Land Use/Land Cover and climate variations in Melbourne, Australia. **Sustainable Cities and Society**, v. 69, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102861>.

Hernandes, T. A. D.; Bordonal R. O.; Duft, D. G.; Leal, M. R. L. V. Implications of regional agricultural land use dynamics and deforestation associated with sugarcane expansion for soil carbon stocks in Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 22, n. 49, 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01907-1>

Huang, X.; Lu, K.; Wang, S.; Lu, J.; Li, X.; Zhang, R. Understanding remote sensing imagery like reading a text document: What can remote sensing image captioning offer? **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 131, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103939>.

Huber, D. B.; Mechem, D. B.; Brunsell, N. A. The Effects of Great Plains Irrigation on the Surface Energy Balance, Regional Circulation, and Precipitation. **Climate**, v. 2, n. 2, p. 103-128, 2014. doi: <https://doi.org/10.3390/cli2020103>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Dados Históricos. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos>. Acesso em: 08 de mai. 2024.

Jansen, F. A.; Jongen, H. J.; Jacobs, C. M. J.; Bosveld, F. C.; Buzacott, A. J. V.; Heusinkveld, B. G.; Kruijt, B.; van der Molen, M.; Moors, E.; Steeneveld, G.-J.; van der Tol, C.; van der Velde, Y.; Voortman, B.; Uijlenhoet, R.; Teuling, A. J. Land Cover Control on the Drivers of Evaporation and Sensible Heat Fluxes: An Observation-Based Synthesis for the Netherlands. **Water Resources Research**, v. 59, n. 11, 2023. doi: <https://doi.org/10.1029/2022WR034361>

Jin, K.; Qin, M.; Tang, R.; Huang, X.; Hao, L.; Sun, G. Urban–rural interface dominates the effects of urbanization on watershed energy and water balances in Southern China. **Landscape Ecology**, v. 38, p. 3869-3887, 2023. doi: <https://doi.org/10.1007/s10980-023-01648-4>.

Kotthaus, S.; Grimmond, C. S. B. Energy exchange in a dense urban environment – Part I: Temporal variability of long-term observations in central London. **Urban Climate**, v. 10, p. 261-280, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.10.002>.

Kwon, Y. J.; Lee, D. K.; Kim, J.-H.; Oh, K. Improving urban thermal environments by analysing sensible heat flux patterns in zoning districts. **Cities**, v. 116, 103276, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103276>.

Li, D.; Tian, P.; Luo, H.; Hu, T.; Dong, B.; Cui, Y.; Khan, S.; Luo, Y. Impacts of land use and land cover changes on regional climate in the Lhasa River basin, Tibetan Plateau. **Science of the Total Environment**, v. 742, 140570, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140570> 0048-9697.

Li, X.; Chen, H.; Hua, W.; Ma, H.; Li, X.; Sun, S.; Lu, Y.; Pang, X.; Zhang, X.; Zhang, Q. Modeling the effects of realistic land cover changes on land surface temperatures over China. **Climate Dynamics**, v. 61, p. 1451-1474, 2023. doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06635-0>.

Lin, H.; Li, Y.; Zhao, L. Partitioning of Sensible and Latent Heat Fluxes in Different Vegetation Types and Their Spatiotemporal Variations Based on 203 FLUXNET Sites. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 127, n. 21, p. 2022. doi: <https://doi.org/10.1029/2022JD037142>.

Lins, F. A.; Silva, J. L. B.; Montenegro, A. A. A.; Almeida, T. A. B.; Moura, G. B. A.; Batista, P. H. D. Parâmetros do balanço hídrico estimados via sensoriamento remoto em Bacia Hidrográfica Do Semiárido De Pernambuco. *In: V INOVAGRI International Meeting*, 2019.

Liu, Z.; Liu, Y.; Baig, M. H. A. Biophysical effect of conversion from croplands to grasslands in water-limited temperate regions of China. **Science of the Total Environment**, v. 648, p. 315-324, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.128>.

Lobón-Cerviá, J.; Mazzoni, R.; Rezende, C. F. Effects of riparian forest removal on the trophic dynamics of a Neotropical stream fish assemblage. **Journal of Fish Biology**, v. 89, n. 1, p. 50-64, 2016. doi: <https://doi-org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1111/jfb.12973>.

Lombardozi, D. L.; Bonan, G. B.; Wieder, W.; Grandy, A. S.; Morris, C.; Lawrence, D. L. Cover Crops May Cause Winter Warming in Snow-Covered Regions. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 18, p. 9889-9897, 2018. doi: <https://doi.org/10.1029/2018GL079000>.

Lombardozi, D. L.; Lu, Y.; Lawrence, P. L.; Lawrence D. M.; Swenson, S.; Oleson, K. W.; Wieder, W. R.; Ainsworth, E. A. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 125, n. 8, 2020. doi: <https://doi.org/10.1029/2019JG005529>.

Lü, G.; Batty, M.; Strobl, J.; Lin, H.; Zhu, A-X, Chen, M. Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective. **International Journal Of Geographical Information Science**, v. 33, n. 2, p. 346–367, 2019. doi: <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1533136>

Ma, J.; Chadwick, R.; Seo, K.; Dong, C.; Huang, G.; Foltz, G. R.; Jiang, J. H. Responses of the Tropical Atmospheric Circulation to Climate Change and Connection to the Hydrological Cycle. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 46, p. 549-580, 2018. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517-010102>

Ma, Y.; Sun, S.; Li, C.; Zhao, J.; Li, Z.; Jia, C. Estimation of regional actual evapotranspiration based on the improved SEBAL model. **Journal of Hydrology**, v. 619, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129283>.

Manfredini, F. N. **Aplicação da legislação ambiental na valoração econômica dos serviços ambientais da Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Sorocaba, p.210, 2018.

Marengo, J. A.; Oliveira, G. S. (1998). “Impactos do fenômeno la niña no tempo e clima do brasil: desenvolvimento e intensificação do la niña 1998/1999,” in SBMET, Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia, CD-ROM. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/06.30.08.07/doc/Marengo_Impactos%20do%20fenomeno.pdf. Acesso em: 08 de mai. 2014.

Marengo, J.; Cornejo, A.; Satyamurty, P.; Nobre, C. Cold Surges in Tropical and Extratropical South America: The Strong Event in June 1994. **American Meteorological Society**, v. 125, p. 2759-2786, 1997. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1997\)125<2759:CSITAE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125<2759:CSITAE>2.0.CO;2).

Martins, A. P.; Rosa, R. Procedimentos metodológicos para estimativa de variáveis relacionadas ao balanço de energia no sistema terra-atmosfera - uma revisão de literatura. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 41, p. 100-119.

Meijninger, W. M. L.; Bruin, H. A. R. The sensible heat fluxes over irrigated areas in western Turkey determined with a large aperture scintillometer. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 42-49, 2000. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00197-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00197-3).

Melos, N. D. **Índice de qualidade urbana do município de Uruguaiana – RS por análise de geoprocessamento**. Monografia (Especialista em Geomática), Curso de Especialista em Geomática, Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, p. 50, 2018.

Mendes, A. L. M. **Análise espaço-temporal da evolução de ilhas de calor na APA de Itupararanga**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Meneses, B. M.; Reis, E.; Reis, R.; Vale, M. J. The Effects of Land Use and Land Cover Geoinformation Raster Generalization in the Analysis of LUCC in Portugal. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 10, 2018. doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi7100390>.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 208p.

Myhre, G.; Samset, B. H.; Hodnebrog, Ø.; Andrews, T.; Boucher, O.; Faluvegi, G.; Fläschner, D.; Forster, P. M.; Kasoar, M.; Kharin, V.; Kirkevåg, A.; Lamarque, J. F.; Olivié, O.; Richardson, T. B.; Shawki, D.; Shindell, D.; Shine, K. P.; Stjern, C. W.; Takemura, T.; Voulgarakis, A. Sensible heat has significantly affected the global hydrological cycle over the historical period. **Nature Communications**, v. 9, n. 1922, 2018. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04307-4>

Nikfal, A.; Karimi, M. A. Operational workflow to simulate biophysical variables, based on the coupled WRF/SEBAL models. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 222, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109003>.

Oliveira, G. Análise da técnica de triangulação de potências ópticas aplicada a estimativas de evapotranspiração. Tese (Doutorado em Instrumentação Óptica). Programa de Pós-Graduação em Instrumentação e Óptica Aplicada, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca e Universidade Federal Fluminense, Niterói, p. 101, 2019.

Padovanni, N. G.; Lopes, E. R.; Souza, J. C.; Morais, M. C. M.; Lourenço, R. W. Análise Espacial da Temperatura e Albedo de Superfície na Bacia Hidrográfica do rio Una – Ibiúna/São Paulo, a partir de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1832-1845, 2018.

Parbaleh, A.; Kaboli, H. S. Detection of trend changes in surface energy budget caused by urbanization and land cover/use changes in Dezful plain, Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 82, 2023. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10990-4>.

Pei, T.; Xu, J.; Liu, Y.; Huang, X.; Zhang, L.; Dong, W.; Qin, C.; Song, C.; Gong, J.; Zhou, C. GIScience and remote sensing in natural resource and environmental research: Status quo and future perspectives. **Geography and Sustainability**, v. 2, n. 3, p. 207-215, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.08.004>.

Pereira, L. O. **Usos e cobertura da terra na APA de Itupararanga: A criticidade da paisagem nas APPs**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal De São Carlos, Sorocaba – SP, p.91, 2022.

Pereira, T. A.; Passos, P. O.; Santos, L. A.; Lücking, R.; Cáceres, M. E. S. Going extinct before being discovered? New lichen fungi from a small fragment of the vanishing Atlantic Rainforest in Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18, n. 1, e20170445, 2018. doi: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2017-0445>.

Pielke Sr, R. A.; Marland, G.; Betts, R. A.; Chase, T. N.; Eastman, J. L.; Niles, J. O.; Niyogi, D. D. S.; Running, S. W. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. **The Royal Society**, v. 360, p. 1705-1719, 2002. doi: 10.1098/rsta.2002.1027.

Prijith, S. S.; Srinivasarao, K.; Lima, C. B.; Gharai, B.; Rao, P. V. N.; SeshaSai, M. V. R.; Ramana, M. V. Effects of land use/land cover alterations on regional meteorology over Northwest India. **Science of The Total Environment**, v. 765, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142678>

Rios, G.; Ramamurthy, P. A novel model to estimate sensible heat fluxes in urban areas using satellite-derived data. **Remote Sensing of Environment**, v. 270, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112880>.

Rubert, G. C. D.; Souza, V. A.; Zimmer, T.; Veeck, G. P.; Mergen, A.; Bremm, T.; Ruhoff, A.; Gonçalves, L. G. G.; Roberti, D. R. Patterns and Controls of the Latent and Sensible Heat Fluxes in the Brazilian Pampa Biome. **Atmosphere**, v. 13, n. 1, 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos13010023>.

Rufino, I. A. A.; Silva, S. T. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro: uma abordagem metodológica. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 166-181, 2017. doi: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702017000100011>

Sadeghi, B.; Eleish, A. M.; Morrison, S. M.; Klump, J. Inverse radius weighting and its python package “IRWPy”: A new topography-informed interpolation to enhance geological interpretations. **Ore Geology Reviews**, v. 172, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2024.106206>.

Saldanha, R.; Akbarinia, R.; Pedroso, M.; Ribeiro, V.; Cardoso, C.; Pena, E. H. M.; Valdúriez, P.; Porto, F. Zonal statistics datasets of climate indicators for Brazilian municipalities. **Environmental Data Science**, v. 3, 2024. doi: <https://doi.org/10.1017/eds.2024.3>.

Sales, R. S. B.; Sales, D. S.; Mendonça, J. C. Balanço de energia e ilhas de calor no perímetro urbano de Campos dos Goytacazes, RJ: Um estudo de caso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 6, p. 3093-3105, 2022.

SÃO PAULO. **Lei nº 10.100, de 01 de dezembro de 1998**. Declara Área de Proteção Ambiental o entorno da represa de Itupararanga. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1998/lei-10100-01.12.1998.html>. Acesso em: 08 de mai. 2024.

SÃO PAULO. **Lei nº 11.579, de 02 de dezembro de 2003**. Altera a Lei nº 10.100, de 01 de dezembro de 1998. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2003/lei-11579-02.12.2003.html>. Acesso em: 08 de mai. 2024.

Scarano, F. R.; Ceotto, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, p. 2319-2331, 2015. doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0972-y>.

Shen, P.; Zhao, S.; Ma, Y. Perturbation of urbanization to Earth's surface energy balance. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 126, n. 8, e2020JD033521, 2021. doi: <https://doi.org/10.1029/2020JD033521>.

Shen, P.; Zhao, S.; Ma, Y.; Liu, S. Urbanization-induced Earth's surface energy alteration and warming: A global spatiotemporal analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 284, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113361>.

Silva, R. F. **Relação entre a temperatura de superfície e índices de vegetação na bacia do Alto Jequitinhonha**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, p. 79, 2021.

Simonetti, V. C.; Silva, D. C. C.; Rosa, A. H. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Ituparanga (SP), Brasil. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 01-27, 2019. doi: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p01>.

Souza, J. C.; Lopes, E. R. N.; Sousa, J. A. P.; Padovanni, N. G.; Lourenço, R. W. Dinâmica Espacial e Sazonal da Temperatura, Umidade e Estresse Hídrico em Diferentes Tipos de Cobertura Vegetal. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 80-94, 2019. doi: <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.144716>.

Sultana, S.; Satyanarayana, A. N. V. Urban heat island intensity during winter over metropolitan cities of India using remote-sensing techniques: impact of urbanization. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 20, p. 6692-6730, 2018. doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1466072>.

Tariq, S.; Nawaz, H.; ul-Haq, Z.; Mehmood, U. Response of enhanced vegetation index changes to latent/sensible heat flux and precipitation over Pakistan using remote sensing. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 65565-65584, 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20391-y>

Tariq, S.; Zeydan, Ö.; Nawaz, H.; Mehmood, U.; ul-Haq, Z. Impact of land use/land cover (LULC) changes on latent/sensible heat flux and precipitation over Türkiye. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 153, p. 1237-1256, 2023. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04535-9>

Uda, P. K.; Corseuil, C. W.; Kobiyama, M. Evapotranspiração Real da Bacia do Alto Rio Negro, Região Sul Brasileira, por meio do SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) e Balanço Hídrico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 205-217, 2014.

Wanderley, R. L. N.; Domingues, L. M.; Joly, C. A.; Rocha, H. R. Relationship between land surface temperature and fraction of anthropized area in the Atlantic forest region, Brazil. **Plos One**, v. 14, n. 12, 2019. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225443>.

Wang, R.; Li, L.; Gentile, P.; Zhang, Y.; Chen, J.; Chen, X.; Chen, L.; Ning, L.; Yuan, L.; Lü, G. Recent increase in the observation-derived land evapotranspiration due to global

warming. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 2, 2022. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4291>

WATERS, R. et al. SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land. **Idaho implementation, Advance Training and Users Manual, Department of Water Resources: Boise, ID, USA**, 2002.

Weber, S.; Kuttler, W. Surface energy balance characteristics of a heterogeneous urban ballast facet. **Climate Research**, v.28, p. 257-266, 2005.

Wild, M.; Folini, D.; Schär, C. Loeb, N.; Dutton, E. G.; König-Langlo, G. The global energy balance from a surface perspective. **Climate Dynamics**, v. 40, p. 3107-3134, 2013. doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1569-8>.

Yang, Y.; Smith, J.; Yang, L.; Baeck, M. L.; Ni, G. Regional Impacts of Urban Irrigation on Surface Heat Fluxes and Rainfall in Central Arizona. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, p. 6393-6410, 2019. doi: <https://doi.org/10.1029/2018JD030213>.

Yu, Z.; Chen, T.; Yang, G.; Sun, R.; Xie, W.; Vejre, H. Quantifying seasonal and diurnal contributions of urban landscapes to heat energy dynamics. **Applied Energy**, v. 264, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114724>.

Yu, Z.; Yang, G.; Zuo, S.; Jørgensen, G.; Koga, M.; Vejre, H. Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A thresholdsize perspective. **Urban Forestry & Greening**, v. 49, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126630>.

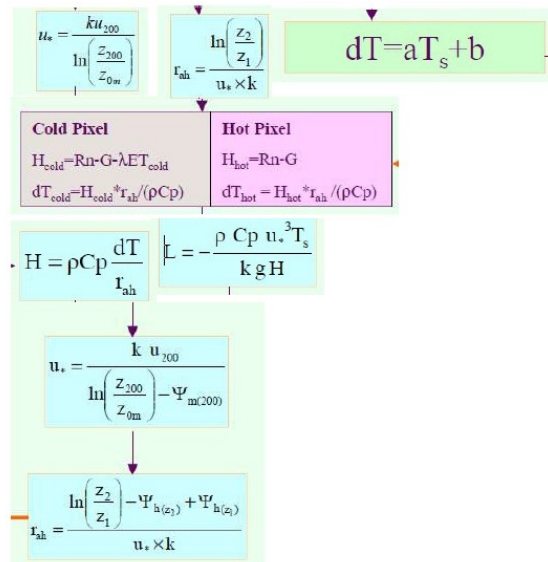
APÊNDICE A - ITERAÇÃO

1986	Coordenadas		Temperatura	Rn	G	u200m (cent)	Z0m	p	cP	k	g
	x	y	K	W/m2	W/m2	m/s	m				
Cold Pixel	261285	7386582	290,14					1,13	1004,00	0,41	9,81
Hot Pixel	264077	7388953	295,52	359,35	39,38	2,86	0,02				

Valores a serem alterados de acordo com a imagem/ano de análise

Pixel hot							
Iteração	u*	rah	L	m200	h2	h0,1	H
0	0,13	57,32	-	-	-	-	16,167
1	0,388	5,3	-0,540	6,187	2,955	0,805	1,498
2	0,233	20,6	-5,823	4,178	1,147	0,125	5,821
3	0,300	10,5	-1,499	5,298	2,104	0,396	2,951
4	0,262	15,2	-2,956	4,727	1,595	0,228	4,279
5	0,281	12,5	-2,038	5,037	1,867	0,311	3,520
6	0,271	13,9	-2,478	4,874	1,722	0,265	3,910
7	0,276	13,1	-2,231	4,961	1,799	0,289	3,697

Iteração	a	b
0	3,005	-871,869
1	0,278	-80,775
2	1,082	-313,900
3	0,549	-159,156
4	0,795	-230,778
5	0,654	-189,819
6	0,727	-210,860
7	0,687	-199,396



Monin-Obukhov L									
1(L<0)	2(L<0)	3(L<0)	4(L<0)	5(L<0)	6(L<0)				
X200	8,776	X200	4,844	X200	6,799	X200	5,738	X200	6,296
X2	2,787	X2	1,596	X2	2,174	X2	1,854	X2	2,022
X0,1	1,411	X0,1	1,063	X0,1	1,199	X0,1	1,114	X0,1	1,156
M200	6,187	M200	4,178	M200	5,298	M200	4,727	M200	5,037
H2	2,955	H2	1,147	H2	2,104	H2	1,595	H2	1,867
H0,1	0,805	H0,1	0,125	H0,1	0,396	H0,1	0,228	H0,1	0,311

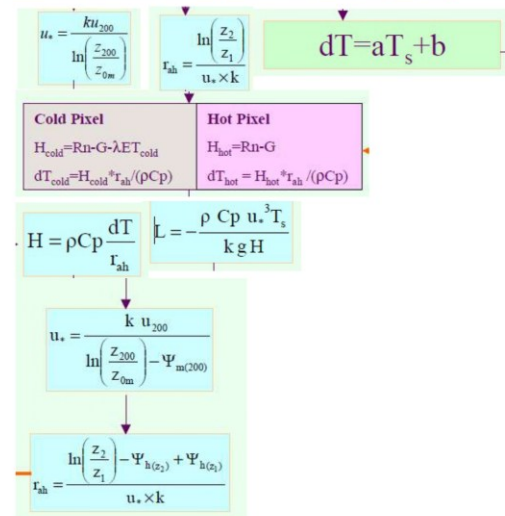
7(L<0)	
X200	6,155
X2	1,979
X0,1	1,145
M200	4,961
H2	1,799
H0,1	0,289

1994	Coordenadas		Temperatura	Rn	G	u200m (cent)	Z0m	p	cP	k	g
	x	y	K	W/m2	W/m2	m/s	m				
Cold Pixel	261285	7386582	288,05					1,13	1004,00	0,41	9,81
Hot Pixel	264077	7388953	293,48	302,30	33,06	1,54	0,02				

Valores a serem alterados de acordo com a imagem/ano de análise

Pixel hot								
Iteração	u*	rah	L	m200	h2	h0,1	dt	H
0	0,07	106,58	-	-	-	-	25,294	269,240
1	0,425	2,2	-0,099	7,724	4,503	1,888	0,520	5,531
2	0,129	35,4	-4,822	4,329	1,264	0,148	8,412	89,543
3	0,253	6,2	-0,298	6,718	3,483	1,133	1,475	15,700
4	0,157	20,9	-1,699	5,191	2,006	0,359	4,969	52,892
5	0,213	9,4	-0,504	6,247	3,015	0,839	2,229	23,727
6	0,172	16,3	-1,124	5,544	2,335	0,491	3,870	41,198
7	0,198	11,3	-0,647	6,026	2,798	0,718	2,673	28,450
8	0,180	14,5	-0,937	5,702	2,485	0,559	3,442	36,642
9	0,192	12,2	-0,728	5,923	2,698	0,665	2,902	30,886
10	0,184	13,7	-0,863	5,773	2,553	0,592	3,260	34,698
11	0,189	12,7	-0,769	5,875	2,651	0,641	3,013	32,068
12	0,185	13,4	-0,832	5,806	2,585	0,608	3,178	33,833

Iteração	a	b
0	4,658	-1341,794
1	0,096	-27,565
2	1,549	-446,249
3	0,272	-78,241
4	0,915	-263,594
5	0,411	-118,247
6	0,713	-205,317
7	0,492	-141,786
8	0,634	-182,609
9	0,534	-153,925
10	0,600	-172,920
11	0,555	-159,817
12	0,585	-168,611



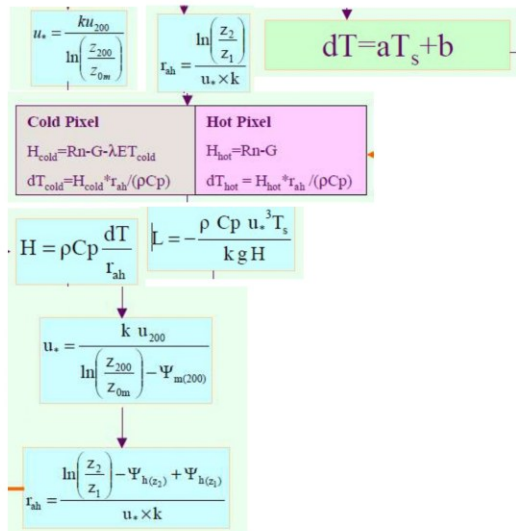
Monin-Obukhov L											
1(L<0)		2(L<0)		3(L<0)		4(L<0)		5(L<0)		6(L<0)	
X200	13,407	X200	5,077	X200	10,181	X200	6,589	X200	8,926	X200	7,305
X2	4,243	X2	1,662	X2	3,227	X2	2,110	X2	2,834	X2	2,330
X0,1	2,035	X0,1	1,074	X0,1	1,589	X0,1	1,180	X0,1	1,429	X0,1	1,248
M200	7,724	M200	4,329	M200	6,718	M200	5,191	M200	6,247	M200	5,544
H2	4,503	H2	1,264	H2	3,483	H2	2,006	H2	3,015	H2	2,335
H0,1	1,888	H0,1	0,148	H0,1	1,133	H0,1	0,359	H0,1	0,839	H0,1	0,491
7(L<0)		8(L<0)		9(L<0)		10(L<0)		11(L<0)		12(L<0)	
X200	8,385	X200	7,644	X200	8,143	X200	7,803	X200	8,033	X200	7,876
X2	2,665	X2	2,435	X2	2,590	X2	2,484	X2	2,555	X2	2,507
X0,1	1,365	X0,1	1,283	X0,1	1,337	X0,1	1,300	X0,1	1,325	X0,1	1,308
M200	6,026	M200	5,702	M200	5,923	M200	5,773	M200	5,875	M200	5,806
H2	2,798	H2	2,485	H2	2,698	H2	2,553	H2	2,651	H2	2,585
H0,1	0,718	H0,1	0,559	H0,1	0,665	H0,1	0,592	H0,1	0,641	H0,1	0,608

2001	Coordenadas		Temperatura	Rn	G	u200m (cent)	Z0m	p	cP	k	g
	x	y	K	W/m2	W/m2	m/s	m				
Cold Pixel	261285	7386582	289,91					1,13	1004,00	0,41	9,81
Hot Pixel	264077	7388953	298,02	371,83	48,87	3,39	0,02				

Valores a serem alterados de acordo com a imagem/ano de análise

Pixel hot								
Iteração	u*	rah	L	m200	h2	h0,1	dt	H
0	0,15	48,47	-	-	-	-	13,798	322,960
1	0,401	6,4	-0,892	5,745	2,526	0,579	1,817	42,521
2	0,270	18,5	-6,772	4,059	1,057	0,109	5,275	123,468
3	0,324	11,4	-2,332	4,924	1,766	0,278	3,232	75,643
4	0,296	14,5	-3,807	4,520	1,419	0,183	4,127	96,594
5	0,309	12,9	-2,981	4,720	1,588	0,226	3,668	85,855
6	0,303	13,7	-3,354	4,623	1,506	0,205	3,886	90,968
7	0,306	13,3	-3,166	4,671	1,546	0,215	3,779	88,443
8	0,304	13,5	-3,256	4,648	1,527	0,210	3,831	89,668
9	0,305	13,4	-3,211	4,659	1,536	0,212	3,805	89,068

Iteração	a	b
0	1,701	-493,232
1	0,224	-64,939
2	0,650	-188,564
3	0,398	-115,524
4	0,509	-147,521
5	0,452	-131,121
6	0,479	-138,928
7	0,466	-135,072
8	0,472	-136,943
9	0,469	-136,028



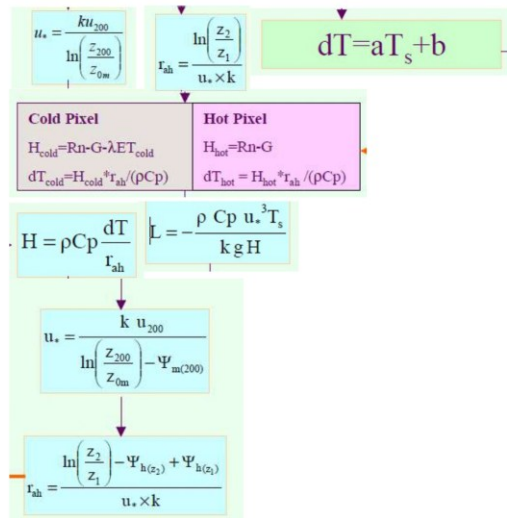
Monin-Obukhov L									
1(L<0)	2(L<0)	3(L<0)	4(L<0)	5(L<0)	6(L<0)	7(L<0)	8(L<0)	9(L<0)	
X200	7,740	X200	4,665	X200	6,087	X200	5,386	X200	5,725
X2	2,464	X2	1,547	X2	1,959	X2	1,751	X2	1,851
X0,1	1,293	X0,1	1,054	X0,1	1,140	X0,1	1,092	X0,1	1,113
M200	5,745	M200	4,059	M200	4,924	M200	4,520	M200	4,720
H2	2,526	H2	1,057	H2	1,766	H2	1,419	H2	1,588
H0,1	0,579	H0,1	0,109	H0,1	0,278	H0,1	0,183	H0,1	0,226
X200	5,559	X200	5,640	X200	5,601	X200	5,620		
X2	1,802	X2	1,826	X2	1,814	X2	1,820		
X0,1	1,102	X0,1	1,108	X0,1	1,105	X0,1	1,106		
M200	4,623	M200	4,671	M200	4,648	M200	4,659		
H2	1,506	H2	1,546	H2	1,527	H2	1,536		
H0,1	0,205	H0,1	0,215	H0,1	0,210	H0,1	0,212		

2007	Coordenadas		Temperatura	Rn	G	u200m (cent)	Z0m	p	cP	k	g
	x	y	K	W/m2	W/m2	m/s	m				
Cold Pixel	261285	7386582	290,62					1,13	1004,00	0,41	9,81
Hot Pixel	264077	7388953	299,58	388,52	54,48	1,94	0,02				

Valores a serem alterados de acordo com a imagem/ano de análise

Pixel hot								
Iteração	u*	rah	L	m200	h2	h0,1	dt	H
0	0,09	84,76	-	-	-	-	24,957	334,037
1	0,409	2,9	-0,162	7,271	4,042	1,530	0,849	11,362
2	0,163	28,0	-4,764	4,338	1,272	0,150	8,257	110,510
3	0,270	7,3	-0,490	6,273	3,040	0,854	2,152	28,804
4	0,193	17,6	-1,879	5,106	1,929	0,332	5,193	69,502
5	0,237	10,2	-0,779	5,863	2,640	0,635	2,999	40,143
6	0,208	14,5	-1,348	5,388	2,188	0,429	4,275	57,224
7	0,226	11,6	-0,946	5,694	2,477	0,556	3,416	45,727
8	0,214	13,4	-1,184	5,500	2,293	0,473	3,945	52,803
9	0,221	12,2	-1,025	5,624	2,411	0,525	3,600	48,186
10	0,217	13,0	-1,123	5,545	2,336	0,491	3,817	51,090

Iteração	a	b
0	2,784	-808,964
1	0,095	-27,516
2	0,921	-267,630
3	0,240	-69,757
4	0,579	-168,318
5	0,335	-97,216
6	0,477	-138,584
7	0,381	-110,741
8	0,440	-127,877
9	0,402	-116,695
10	0,426	-123,729



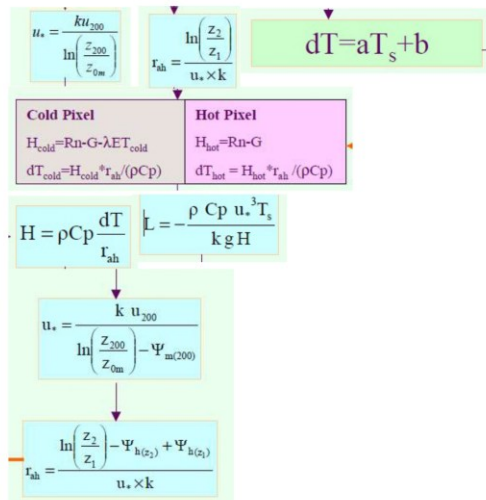
Monin-Obukhov L									
1(L<0)		2(L<0)		3(L<0)		4(L<0)		5(L<0)	
X200	11,855	X200	5,093	X200	8,991	X200	6,425	X200	8,007
X2	3,754	X2	1,667	X2	2,854	X2	2,061	X2	2,547
X0,1	1,816	X0,1	1,075	X0,1	1,437	X0,1	1,166	X0,1	1,322
M200	7,271	M200	4,338	M200	6,273	M200	5,106	M200	5,863
H2	4,042	H2	1,272	H2	3,040	H2	1,929	H2	2,640
H0,1	1,530	H0,1	0,150	H0,1	0,854	H0,1	0,332	H0,1	0,635
6(L<0)		7(L<0)		8(L<0)		9(L<0)		10(L<0)	
X200	6,981	X200	7,627	X200	7,211	X200	7,476	X200	7,306
X2	2,230	X2	2,429	X2	2,301	X2	2,382	X2	2,330
X0,1	1,216	X0,1	1,281	X0,1	1,238	X0,1	1,265	X0,1	1,248
M200	5,388	M200	5,694	M200	5,500	M200	5,624	M200	5,545
H2	2,188	H2	2,477	H2	2,293	H2	2,411	H2	2,336
H0,1	0,429	H0,1	0,556	H0,1	0,473	H0,1	0,525	H0,1	0,491

2014	Coordenadas		Temperatura	Rn	G	u200m (cent)	Z0m	p	cP	k	g
	x	y	K	W/m2	W/m2	m/s	m				
Cold Pixel	261285	7386582	291,45					1,13	1004,00	0,41	9,81
Hot Pixel	264077	7388953	299,93	382,63	51,78	1,60	0,02				

Valores a serem alterados de acordo com a imagem/ano de análise

Pixel hot							
Iteração	u*	rah	L	m200	h2	h0,1	H
0	0,07	102,81	-	-	-	-	29,982
1	0,462	1,9	-0,092	7,795	4,575	1,947	0,565
2	0,134	34,3	-4,868	4,321	1,258	0,147	10,013
3	0,270	5,6	-0,275	6,790	3,556	1,182	1,635
4	0,163	20,1	-1,683	5,199	2,014	0,362	5,859
5	0,226	8,6	-0,470	6,310	3,077	0,876	2,505
6	0,180	15,5	-1,098	5,564	2,354	0,499	4,521
7	0,209	10,4	-0,609	6,080	2,851	0,746	3,032
8	0,188	13,7	-0,908	5,730	2,512	0,572	3,994
9	0,202	11,4	-0,689	5,971	2,744	0,689	3,310
10	0,192	12,9	-0,831	5,806	2,585	0,608	3,766
11	0,199	11,8	-0,731	5,919	2,694	0,663	3,449
12	0,194	12,6	-0,798	5,842	2,620	0,625	3,664

Iteração	a	b
0	3,536	-1030,455
1	0,067	-19,428
2	1,181	-344,135
3	0,193	-56,192
4	0,691	-201,359
5	0,295	-86,109
6	0,533	-155,385
7	0,358	-104,208
8	0,471	-137,279
9	0,390	-113,775
10	0,444	-129,451
11	0,407	-118,522
12	0,432	-125,916



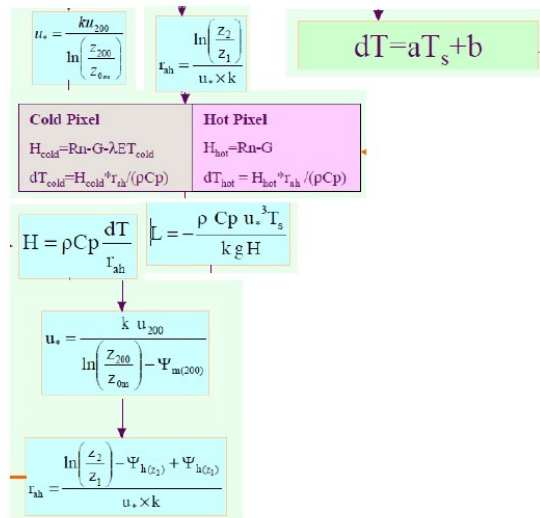
Monin-Obukhov L											
1(L<0)		2(L<0)		3(L<0)		4(L<0)		5(L<0)		6(L<0)	
X200	13,665	X200	5,065	X200	10,388	X200	6,604	X200	9,085	X200	7,347
X2	4,324	X2	1,659	X2	3,292	X2	2,115	X2	2,883	X2	2,343
X0,1	2,072	X0,1	1,074	X0,1	1,616	X0,1	1,182	X0,1	1,449	X0,1	1,252
M200	7,795	M200	4,321	M200	6,790	M200	5,199	M200	6,310	M200	5,564
H2	4,575	H2	1,258	H2	3,556	H2	2,014	H2	3,077	H2	2,354
H0,1	1,947	H0,1	0,147	H0,1	1,182	H0,1	0,362	H0,1	0,876	H0,1	0,499
7(L<0)		8(L<0)		9(L<0)		10(L<0)		11(L<0)		12(L<0)	
X200	8,515	X200	7,706	X200	8,256	X200	7,877	X200	8,136	X200	7,958
X2	2,705	X2	2,454	X2	2,625	X2	2,507	X2	2,587	X2	2,532
X0,1	1,380	X0,1	1,289	X0,1	1,350	X0,1	1,308	X0,1	1,336	X0,1	1,317
M200	6,080	M200	5,730	M200	5,971	M200	5,806	M200	5,919	M200	5,842
H2	2,851	H2	2,512	H2	2,744	H2	2,585	H2	2,694	H2	2,620
H0,1	0,746	H0,1	0,572	H0,1	0,689	H0,1	0,608	H0,1	0,663	H0,1	0,625

2021	Coordenadas		Temperatura	Rn	G	u200m (cent)	Z0m	p	cP	k	g
	x	y	K	W/m2	W/m2	m/s	m				
Cold Pixel	261285	7386582	292,27					1,13	1004,00	0,41	9,81
Hot Pixel	264077	7388953	302,73	419,51	65,11	1,59	0,02				

Valores a serem alterados de acordo com a imagem/ano de análise

Pixel hot								
Interação	u*	rah	L	m200	h2	h0,1	dt	H
0	0,07	103,48	-	-	-	-	32,325	354,400
1	0,484	1,8	-0,085	7,868	4,650	2,007	0,556	6,097
2	0,133	34,7	-4,931	4,311	1,250	0,145	10,855	119,008
3	0,278	5,3	-0,253	6,867	3,633	1,235	1,641	17,991
4	0,162	20,1	-1,671	5,205	2,019	0,364	6,290	68,961
5	0,229	8,2	-0,436	6,376	3,143	0,916	2,552	27,980
6	0,179	15,4	-1,074	5,584	2,372	0,508	4,806	52,692
7	0,212	10,0	-0,571	6,137	2,907	0,778	3,120	34,202
8	0,188	13,5	-0,879	5,758	2,538	0,585	4,215	46,217
9	0,204	11,0	-0,650	6,022	2,794	0,715	3,427	37,576
10	0,193	12,7	-0,800	5,840	2,617	0,624	3,957	43,380
11	0,200	11,5	-0,693	5,966	2,739	0,686	3,584	39,289
12	0,195	12,3	-0,765	5,879	2,655	0,643	3,838	42,079

Interação	a	b
0	3,090	-903,207
1	0,053	-15,538
2	1,038	-303,299
3	0,157	-45,850
4	0,601	-175,751
5	0,244	-71,310
6	0,459	-134,289
7	0,298	-87,165
8	0,403	-117,786
9	0,328	-95,764
10	0,378	-110,557
11	0,343	-100,130
12	0,367	-107,242



Monin-Obukhov L											
1(L<0)		2(L<0)		3(L<0)		4(L<0)		5(L<0)		6(L<0)	
X200	13,937	X200	5,049	X200	10,609	X200	6,616	X200	9,257	X200	7,388
X2	4,410	X2	1,654	X2	3,361	X2	2,119	X2	2,937	X2	2,356
X0,1	2,111	X0,1	1,073	X0,1	1,646	X0,1	1,183	X0,1	1,470	X0,1	1,256
M200	7,868	M200	4,311	M200	6,867	M200	5,205	M200	6,376	M200	5,584
H2	4,650	H2	1,250	H2	3,633	H2	2,019	H2	3,143	H2	2,372
H0,1	2,007	H0,1	0,145	H0,1	1,235	H0,1	0,364	H0,1	0,916	H0,1	0,508
7(L<0)		8(L<0)		9(L<0)		10(L<0)		11(L<0)		12(L<0)	
X200	8,654	X200	7,768	X200	8,375	X200	7,953	X200	8,244	X200	8,042
X2	2,749	X2	2,473	X2	2,662	X2	2,530	X2	2,621	X2	2,558
X0,1	1,397	X0,1	1,296	X0,1	1,364	X0,1	1,316	X0,1	1,349	X0,1	1,326
M200	6,137	M200	5,758	M200	6,022	M200	5,840	M200	5,966	M200	5,879
H2	2,907	H2	2,538	H2	2,794	H2	2,617	H2	2,739	H2	2,655
H0,1	0,778	H0,1	0,585	H0,1	0,715	H0,1	0,624	H0,1	0,686	H0,1	0,643