



## Avaliação espaço-temporal da transformação do uso e ocupação da terra e seus impactos na temperatura da superfície em Rio Verde - GO

Luciane de Souza Pereira<sup>1</sup>, Lucas Peres Angelini<sup>2</sup>, Victor Hugo de Moraes Danelichen<sup>3</sup>, Luiz Fernando Gomes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, e-mail de correspondência: lucianepereira.sanambiental@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1527-9043; luizfernandoz4@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-8279-7409. <sup>2</sup> Professor doutor e Pesquisador, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, e-mail de correspondência: lucas.angelini@ifgoiano.edu.br, ORCID: 0000-0001-8943-7281. <sup>3</sup>Professor doutor e Pesquisador, Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá, Campus Barão, 222, CEP 78005-300, Cuiabá, Mato Grosso. (65) 3363-1729. victor.danelichen@kroton.com.br ORCID: 0000-0003-4791-3301.

Artigo recebido em 10/05/2023 e aceito em 10/01/2024

### RESUMO

O aumento da temperatura da superfície tem causado preocupação mundial, principalmente porque as modificações do ambiente urbano interferem consideravelmente no conforto ambiental. O desenvolvimento das cidades está frequentemente marcado pela remoção de cobertura vegetal, movimentação de terra e impermeabilização do solo. Para investigar um processo de urbanização acentuado e seus efeitos no microclima, estudou-se o município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil, no período de 1985 a 2019. Objetivou-se com este estudo, avaliar espaço-temporalmente as mudanças do uso e ocupação solo e seus impactos na temperatura da superfície no Município. Para isso, desenvolveu-se uma condição embasada num algoritmo de decisão hierárquica, para classificar especificamente a distribuição espacial de solos de Cerrado urbano. Foi utilizado dados extraídos de imagens orbitais dos satélites Landsat-5 e Landsat-8 no período de 1985 a 2019. Dentre os resultados, detectou-se o aumento de camadas de superfície termicamente ativas, resultando em alterações na temperatura da superfície demonstrando que a intensidade das ilhas de calor é superior em áreas de solos impermeabilizados. Este estudo por fim concluiu-se, que a expansão urbana, assim como os demais parâmetros ambientais ocasionados por esta, foram a principal força motriz e causa dessas modificações e impactos no microclima observados no município. Nesse sentido, as mudanças do uso e ocupação do solo resultou em alterações no comportamento térmico superficial ocasionado principalmente pela transformação do uso do solo.

Palavras-chave: clima urbano, monitoramento e gestão territorial.

## Space-time evaluation of the transformation of land use and occupation and its impacts on surface temperature in Rio Verde - GO

### ABSTRACT

The increase in surface temperature has caused worldwide concern, mainly because changes in the urban environment interfere considerably with environmental comfort. The development of cities is often marked by the removal of vegetation cover, earth moving and soil sealing. To investigate an accentuated urbanization process and its effects on the microclimate, the municipality of Rio Verde, state of Goiás, Brazil, was studied from 1985 to 2019. The aim of this study was to evaluate space-time changes in land use and soil occupation and its impacts on surface temperature in the Municipality. For this, a condition based on a hierarchical decision algorithm was developed to specifically classify the spatial distribution of urban Cerrado soils. Data extracted from orbital images of the Landsat-5 and Landsat-8 satellites from 1985 to 2019 were used. Among the results, an increase in thermally active surface layers was detected, resulting in changes in surface temperature, demonstrating that the intensity of heat islands is higher in areas of impermeable soils. This study finally concluded that urban expansion, as well as other environmental parameters caused by it, were the main driving force and cause of these changes and impacts on the microclimate observed in the municipality. In this sense, changes in land use and occupation resulted in changes in surface thermal behavior caused mainly by the transformation of land use.

Keywords: urban climate, monitoring and territorial management.

## Introdução

A urbanização é uma das principais ações antrópicas que exerce pressão sobre os recursos naturais com supressão da vegetação (Malik et al., 2020; Gohain et al. 2021, Campos & Danelichen, 2021). O processo de urbanização pode ser conceituado como a modificação estrutural do ambiente para adaptação das prioridades humanas, revertendo à situação original da cobertura do solo (Oke, 1980; Feitosa, 2011; Loew et al., 2013). A urbanização pode ser entendida como expansão da área construída em termos de indústria, casas ou desenvolvimento de infraestrutura dentro ou em conexão direta com os centros urbanos (Gohain et al. 2020). De modo geral, a urbanização acelerada suprime a vegetação natural e pode resultar em impactos negativos ao ambiente, bem como a qualidade de vida da população (Nurwanda & Honjo, 2020. Pereira et al., 2021).

Nesse sentido, as áreas urbanizadas apresentam temperaturas mais altas em comparação com as áreas com cobertura vegetal adjacentes, esse fenômeno é conhecido com ilhas de calor urbano (Bala et al., 2020). As ilhas de calor são preocupantes, principalmente em grandes centros urbanos que apresentam rápido crescimento populacional. Devido seus impactos na qualidade de vida da população o entendimento desse fenômeno ganhou destaque nos últimos anos (Imam, 2016; Zhou et al., 2018, Silveira et al., 2023).

A construção de superfícies artificiais altamente impermeabilizadas, estruturas acima do nível do solo e o aumento da descarga de calor antropogênico por indústrias e veículos, de modo geral, interferem de forma direta e indiretamente em vários parâmetros climáticos (Voogt; Oke, 2003; TayyebI et al., 2018; Silveira et al., 2023). Esses elementos artificiais presentes nos centros urbanos alteram o balanço de energia que circula na atmosfera e o fluxo de calor sensível, criando microclimas locais, interferindo inclusive no ciclo hidrológico do planeta (Miao, 2016; Huia, 2018; Chakraborty, 2019).

Diante disso, o aumento da temperatura da superfície foi associado ao processo de ampliação dos centros urbanos em várias pesquisas, levando condições térmicas mais quentes em locais específicos como as ilhas de calor urbano (ICU) (Imam, 2016; Zhou et al., 2018; Nurwanda & Honjo, 2020). Com isso, a quantidade e a manutenção de vegetação verde nas áreas urbanas proporcionam alteração nos fluxos de energia (Xiao et al., 2017), destacando a temperatura do solo, que é um parâmetro indispensável para mensurar temperatura do ar (Wenbin et al., 2013),

de forma que solos com cobertura vegetal abundante possuem menor temperatura e solos expostos e/ou espaços urbanizados possuem maior temperatura (Xiao et al., 2017; Aboelnour et al., 2018).

Portanto, a avaliação das mudanças no uso da terra, expansão urbana e avaliação de áreas verdes é importante para alcançar uma cidade mais sustentável e proporcionar melhoria na qualidade de vida da população (Nurwanda & Honjo, 2020; Mendonça et al., 2022). O monitoramento de áreas verdes urbanos tornou-se mais viável com desenvolvimento de tecnologias como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) que contribuem para a análise de alterações na superfície terrestre (Wenbin et al., 2013; Angelini et al., 2017; Li, et al., 2018; Danelichen & Pereira, 2023). A investigação das mudanças no uso e ocupação do solo e os impactos negativos são fundamentais para a mitigação de efeitos prejudiciais para o ambiente e a sociedade (Zheng et al., 2017; Xiao et al., 2017; Singh et al., 2017; Pereira et al., 2021).

Cabe ressaltar que diversas pesquisas investigaram através do caráter espectral da superfície e as características biofísicas da vegetação para avaliação espaço-temporal de áreas urbanizadas (Christen e Vogt, 2004; Andrade et al., 2014; Miles e Esau, 2017; Danelichen & Pereira, 2023)

Por meio de imagens orbitais advindas de SR favorecem o monitoramento da dinâmica de diversos parâmetros biofísicos e da vegetação com a possibilidade de identificar características do solo, percentual de cobertura verde, nível de expansão da infraestrutura urbana e a variação térmica da superfície terrestre (Weng, 2019; Arjasakusuma et al., 2020). De modo geral, os índices espectrais mais conhecidos e utilizados são o Índice de Vegetação de Diferença Normalizado (NDVI) e Índice de Água de Diferença Normalizado (NDWI). Esses, índices são muito empregados principalmente para estudos da cobertura vegetal e mudanças no uso e cobertura do solo (Zheng et al. 2017; Barbosa, 2017; Sobrinho Neto & Danelichen, 2023).

Entretanto, para mapear os usos do solo com enfoque nas áreas construídas, são necessários outros índices espectrais, citando aqui os índice de área construída por diferença normalizada (NDBI), índice de solo exposto por diferenciado normalizada (NDBaI) e ainda para detectar a distribuição de umidade o índice de água modificado por diferença normalizada (MNDWI) (Zhou et al., 2018; Li et al., 2018; Liu et al., 2017;

Gounaridis et al., 2016; Gautam et al., 2015; Sharma et al., 2013).

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar espaço-temporalmente as mudanças do uso e ocupação solo e seus impactos na temperatura da superfície no Município de Rio Verde – GO, Brasil através de dados dos sensores abordo dos satélites Landsat 5 e 8.

## Material e métodos

### Área de Estudo

A área de estudo é o perímetro urbano do município de Rio Verde no Estado de Goiás, localizada no Centro-oeste do Brasil, compreendendo a extensão de 61,51 Km<sup>2</sup>. Situa-se

nas coordenadas 17°47'53" S e 50° 55' 41" O, com uma altitude média de 748 m, inserido na microrregião de sudoeste goiano (Figura 1). O município está inserido dentro do Bioma Cerrado, domínio morfoclimático, com vegetação caracterizada por fragmentos de Cerrado denso, Campo úmido, Mata seca e Cerradão, a região possui percentual de pastagens e plantio de culturas anuais, centro da economia local (Carneiro, 2011).

O clima é tropical úmido ou subúmido, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger (1928) como tipo Aw, com duas estações distintas, a precipitação ocorre tipicamente nos meses de outubro a abril e seca nos meses de maio a setembro, uma precipitação média anual de 1660 mm ano<sup>-1</sup>. As temperaturas máxima e mínima são 30°C e 14°C, respectivamente (INMET, 2022).

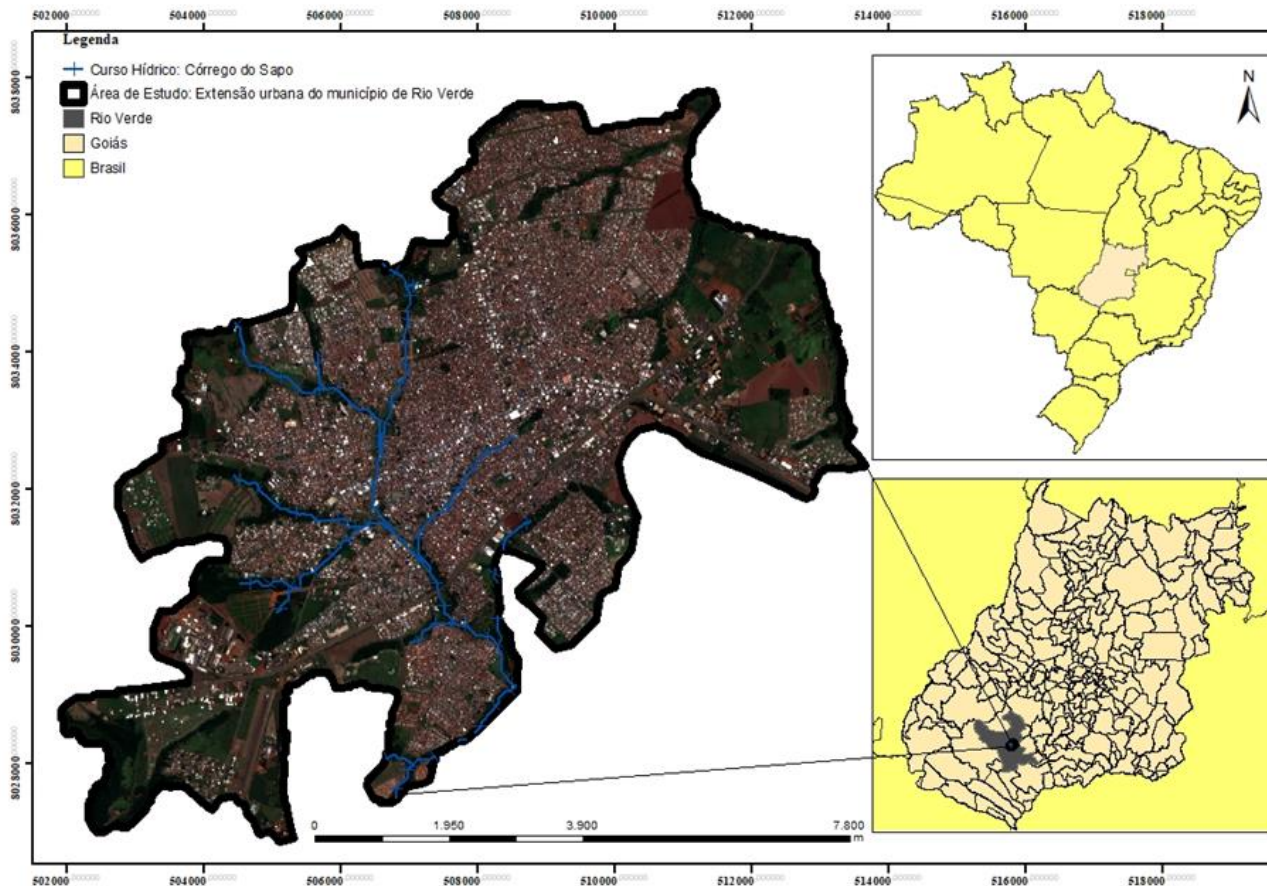


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo – Perímetro urbano de Rio Verde, Goiás, Brasil..

### Dados de meteorológicos

Para correção do algoritmo de classificação da temperatura de brilho em temperatura da superfície (TS) e na classificação microclimática da área de estudo os dados meteorológicos foram obtidos no Instituto

Nacional de Meteorologia (INMET) cuja estação está localizada em Rio Verde/GO. Para a calibração do algoritmo foram coletados dados de temperatura média e umidade relativa na hora de passagem dos satélites Landsat 5 e 8 (Tabela 1).

**Tabela 1:** Temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) utilizados para correção da temperatura de brilho e temperatura superfície para o município de Rio Verde/GO.

Dia	Temp. média (°C)	Um. relativa (%)
15/08/1985	22,7	34,0
19/08/2004	23,3	45,0
11/08/2014	20,4	59,0
13/08/2019	21,8	45,0

**Aquisição de dados orbitais**

Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat-5 TM (Thematic Mapper) e Landsat-8 OLI (Operational Terra Imager), ambas as cenas são correspondentes a órbita 223 e ponto 72 entre os anos de 1985 e 2019, com amostragem, aproximadamente, a cada dez anos de cenas do período de seca para evitar cobertura com nuvens, as cenas são correspondentes as datas da tabela 1. As imagens foram adquiridas no site do serviço geológico americano (USGS) na plataforma ESPA [http://espa.cr.usgs.gov/], com as refletâncias corrigidas aos efeitos da atmosfera por meio do LEDAPS da USGS (*Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System*) e reprojatadas para o sistema de coordenadas WGS 84, Zona 22S.

Com as imagens corrigidas foram calculados diferentes índices biofísicos de vegetação (Tabela 2), os índices foram utilizados para investigar e identificar diferentes parâmetros biofísicos da superfície para ressaltar feições de água, percentual de vegetação, áreas com cobertura vegetal e solo exposto. A partir das respostas espectrais da superfície foi realizada classificação do uso do solo que foram comparadas com a resposta térmica.

**Tabela 2:** Índices espectrais biofísicos utilizados para extração de valores limiares, superiores e inferiores para construção de algoritmo de classificação por árvore de decisão hierárquica (CADH) e mapeamento do uso do solo do município de Rio Verde – Goiás.

Índices	Algoritmo	Referências
NDVI	$\frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$	(ZHOU, 2018)
NDBI	$\frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4}$	(SHARMA, 2013)
NDWI	$\frac{\rho_4 - \rho_5}{\rho_4 + \rho_5}$	(GAO,1996)
NDBaI	$\frac{\rho_5 - \rho_6}{\rho_5 + \rho_6}$	(SHARMA, 2013)

$$\text{MNDWI} = \frac{\rho_1 - \rho_5}{\rho_1 + \rho_5} \quad (\text{GAUTAM, 2015})$$

$\rho_3, \rho_4, \rho_5$  e  $\rho_6$  são referentes as reflectâncias das bandas 3, 4, 5 e 6 dos satélites Landsat 5 e 8. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index); NDBI (Normalised Difference Built-up Index), NDWI (Normalised Difference Water Index), NDBaI (Normalised Difference Bareness Index) e MNDWI (Modified Normalised Water Index).

**Classificação por Árvore de decisão hierárquica – CADH**

Para identificar a transição e impactos da urbanização em múltiplos períodos, utilizou-se a geração da rede hierárquica de objetos ou classificação por árvore de decisão hierárquica (CADH), que neste estudo, objetiva a identificação espectral dos solos, cuja absorção energética é representada pela variação de cobertura do solo (Zhang, 2018). Os dados de entrada do modelo foram os índices de vegetação, de modo geral são indicadores gráficos utilizados pelo SR para diferenciar as características biofísicas e espectrais da superfície (Xu, 2006; Gautam, 2015; Zhou et al., 2018). A CADH foi construída usando um algoritmo de divisões binárias, neste caso, utilizou-se os valores espectrais extraídos dos pixels de cada índice, para a distinção das classes de interesse (CI) (Tabela 3).

**Tabela 3:** Valores limiares, superiores e inferiores para cada padrão de uso do solo ou classes de interesse CI da área de estudo.

Categorias	Valores
NDVI	0,9 >= ndvi >= 0,12
NDWI	-0,02 >= ndwi >= -0,35
NDBI	0,18 >= ndbi >= 0,08
NDBaI	-0,31 >= ndbai >= -0,52
MNDWI	-0,45 >= mndwi >= -0,75

Seguindo os valores limiares extraídos dos índices espectrais, foram pré-estabelecidos atributos para a distribuição das CI (classes de interesse), assim a condição (algoritmo) foi configurada com uma sequência de seis classes distintas, sem denominação, com de uso do solo específico e redundante para cada uma delas obedecendo os aspectos biofísicos da área de estudo (Tabela 4). Posteriormente, estabeleceram-se três CI distintas, considerando os padrões do uso do solo previamente discriminados na área de estudo (Tabela 4).

**Tabela 4:** Condição estabelecida para cada classe de interesse (CI), formulada através dos padrões espectrais do uso e ocupação do solo, configurada em algoritmo composto pelos valores limiares, superiores e inferiores dos índices extraídos das do cálculo dos índices.

Classes	Condição/algoritmo
*AMA	$(0,21 \geq ndvi \geq 0,18; -0,04 \geq ndwi \geq -0,04; -0,28 \geq \ln4\_ndbai\_2004 \geq -0,29; 0,3 \geq ndvi \geq 0,20; -0,2 \geq ndbi \geq -0,02; -0,21 \geq ndbai\_2004 \geq -0,455; 0,22 \geq ndwi \geq -0,04$
*AVRS	$(0,5 \geq ndvi \geq 0,3; -0,16 \geq mndwi \geq -0,566; -0,2 \geq ndbai\_2004 \geq 0,018; -0,58 \geq ndbi \geq -0,1)$
*AVMGP	$(0,58 \geq ndvi \geq 0,50; -0,71 \geq mndwi \geq -0,75; -0,06 \geq ndbi \geq -0,10) \vee (0,78 \geq ndvi \geq 0,59; 0,36 \geq ndwi \geq 0,32; -0,24 \geq ndbi \geq -0,31; -0,59 \geq mndwi \geq -0,68)$

\*CI - AMA: Áreas muito antropizadas; AVRS: Áreas de vegetação rasteira e solo exposto; AVMGP: Áreas de vegetação de médio e grande porte.

### Validação

A avaliação do desempenho da condição (algoritmo) proposta para CADH do perímetro urbano de Rio Verde, e os resultados referentes ao grau de veracidade associada aos percentuais de uso do solo foi apurado através a acurácia por erros e acertos do índice KAPPA (Congalton & Green, 1999).

### Estimativa da temperatura da superfície

A estimativa de temperatura da superfície foi realizada através do método de canal térmico/canal único. modelo proposto por Jimenez-Munoz e Sobrino (2004, 2014). Dessa maneira, utilizou-se ainda das bandas termais, bandas 6 e 10 dos sensores Landsat/TM-5, e Landsat/TIRS-8, respectivamente.

### Resultados e discussão

As atividades antrópicas por múltiplos períodos de tempo resultaram em alterações significativas, demonstrando que a evolução da expansão urbana do município de Rio Verde foi muito expressiva entre os anos de 1985 a 2019 (Figura 2). Assim as CI (classes de interesse) em vermelho representam a solos impermeabilizados, descritas como áreas muito antropizadas (AMA).

As CI com áreas de solo exposto ou vegetação rasteira (AVRS) são representadas em cinza e por fim, os solos com cobertura vegetal densa, são descritas como áreas de vegetação de médio e grande porte (AVMGP), são representados em verde. O mapa demonstra ainda, que as áreas com cobertura vegetal intensa (AVMGP) reduziram significativamente no centro do perímetro urbano e foram expandindo à medida que o índice populacional aumentava em Rio Verde entre 1985 e 2019 (Figura 2).

Observa-se que nas bordas e limites da área de estudo até o ano de 2004, existiam fragmentos de floresta de Cerrado. De 2004 a 2014, a expansão urbana atingiu grande parte da área de estudo e os solos com cobertura verde diminuíram expressivamente nas áreas urbanizadas, AMA (Figura 2). De 2014 a 2019, as áreas com cobertura verde mantiveram-se em fragmentos reduzidos principalmente em setores que circundavam cursos hídricos.

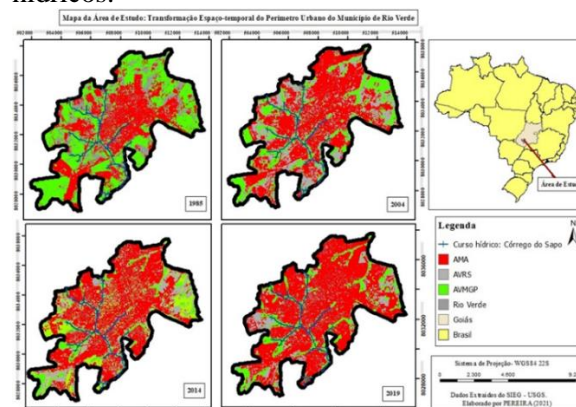


Figura 2: Evolução espaço-temporal e distribuição das classes de uso do solo do perímetro urbano do município de Rio Verde através da classificação por árvore de decisão hierárquica (CADH), do ano de 1985 a 2019.

A análise espaço-temporal do uso do solo através de dados estatísticos foram apresentados nesta seção do perímetro urbano de Rio Verde, configurando a expansão urbana histórica, demonstrando as alterações no percentual de terras com cobertura verde no período de estudo (Tabela 5).

Houve um crescimento de 82,46% das CI com solos impermeabilizados, caracterizados como áreas muito antropizadas (AMA) do ano de 1985 a 2019. As CI caracterizadas como AMA ocupavam aproximadamente 48,65% da área de estudo, 51,69% em 2014 as CI com as AMA ocupavam da área de estudo e em 2019 as CI com as AMA ocupavam 64,35% do perímetro urbano de Rio Verde (Tabela 5).

Conseqüentemente, grande parte das áreas de vegetação de médio e grande porte (AVMGP) apresentaram uma redução de 60,97% neste mesmo período. As CI com AVMGP em 1985 ocupavam 56,73% da área de estudo, em 1995 apresentaram uma redução de 53,74% em relação a área ocupada em 1985. Em 2004, as CI com AVMGP ocupavam 21,95% da área de estudo, em 2014 houve um curioso crescimento, ocupando 23,98% da área de estudo e por fim em 2019 ocupando 16,87% do perímetro urbano de Rio Verde (Tabela 5).

Por outro lado, as CI com áreas de solo exposto e vegetação rasteira (AVRS) oscilaram entre redução e aumento, durante todo o período de estudo, configurando uma classe transitória entre áreas com solos com cobertura vegetal intensa (AVMGP) e áreas muito antropizadas (AMA) (Tabela 5). Em 1985, as CI com AVRS ocupavam 21,46%, da área de estudo, em 1995 ocupavam uma área de 31,37%, em 2004 ocupavam 29,10% da área de estudo, em 2014 apresentaram uma redução de 16,40% em relação ao ano de 2019.

Com base nos índices espectrais das cenas do Landsat dos últimos 34 anos discriminou com eficácia as alterações biofísicas da superfície, fato recorrente em pesquisas na China, Índia e outras localidades que sofreram com a urbanização intensa (Li et al., 2015; Coutts, 2016). Confirmando que a investigação através de índices biofísicos e a classificação favorece a detecção de mudanças em áreas de rápido desenvolvimento espaço-temporal em áreas urbanas (Liu et al., 2017; Zhu et al., 2019).

As transformações sutis em áreas urbanas não são perceptíveis através de dados de sensoriamento remoto, entretanto possuem informações pontuais para investigar a degradação florestal (Huang et al., 2017; Bullok, et al., 2018). E com a extração da energia espectral obtém-se a identificação da heterogeneidade dos solos da superfície (Liu, 2017; Zhou, 2018). Além disso as combinações de índices biofísicos usadas para desenvolver algoritmos que juntamente com a valoração dos pixels, viabilizam a identificação da transição de solos com cobertura vegetada para áreas intensamente urbanizadas, características percebidas em outros estudos (Sharma, 2013; Chen et al., 2015; Zhu et al., 2019; Bala et al., 2020).

Com isso a detecção de feições de interesse do uso do solo, através de algoritmos, possibilita o monitoramento de áreas impactadas/alteradas por interferência antrópica através de imagens espectrais (Wenbin et al., 2013; Zhu, et al., 2020). Neste sentido, comprova a que o crescimento das cidades está intimamente ligado à dinâmica da modificação das paisagens naturais (Zhou et al., 2019; Ferreira, 2021).

Ainda nesse raciocínio, verifica-se que a classificação por meio de índices biofísicos contribui significativamente para identificação da transição espaço/tempo no processo de urbanização (Vianna, et al. 2019).

A aplicação do algoritmo neste estudo, corrobora com resultados já obtidos em pesquisas de megacidades, evidenciando que a expansão de solos impermeabilizados eleva a gradual diminuição de solos verdes (Zhang, 2018; Xiao et

al., 2017). Os resultados demonstram ainda, que múltiplas causas impulsionaram a transição de espaços geográficos, entretanto a urbanização é o principal fator da perda de fragmentos de florestas nativas (Zhang et al., 2009; Liu, et al., 2017).

Em estudos diversos, também se verificou que a dinâmica da construção de novas residências é um dos pontos mais cruciais para afetar a estrutura ambiental regional e ainda que áreas densamente urbanizadas apresentam um pior índice ecológico em detrimento a outras áreas (Singh et al., 2017; Chatterje et al., 2017; Miles, 2017; Weng et al., 2019; Arjasakusuma et al., 2020). Assim, após a rever outros estudos, observou-se que realmente a avaliação da série temporal de mapas urbanos foi e é eficaz para identificar concentração de pixels de áreas com cobertura vegetal densa e sua redução percentual em tecidos urbanos, correlacionando este dado ao aumento percentual de áreas com manta asfáltica, solos concretados e áreas de solo nu (Sharma, 2013; Vianna et al., 2019).

#### **Avaliação da Acurácia do Modelo**

De modo geral os resultados da TCC (Taxa de classificação correta), SEN (estimativa de sensibilidade) e ESP (estimativa de especificidade) para todos os anos evidenciaram o peso excelente e alta concordância, de acordo com o padrão estabelecido por Congalton e Green (1999). A CI com a AMA nos anos de 1985 e 2014 demonstraram concordância apresentando peso excelente  $\leq 0,90$  para o TCC e SEN, superior aos outros anos avaliados (Tabela 6).

As CI com AVRS apresentaram pesos excelentes para TCC e SEN para todos os anos superando estimativas  $\leq 0,80$ . As CI com valores de maior peso em relação a TCC e SEN foram as AVMGP, com resultados em alta concordância e pesos excelentes  $\leq 0,87$  em todos os anos (Tabela 10). Por fim, os resultados relacionados as estimativas de especificidade - ESP (acertos negativos) em todos os anos avaliados foram muito semelhantes, apresentando peso excelente e alta concordância nos valores obtidos, que oscilaram entre  $\leq 0,8$  e  $\leq 0,9$  para as CI (AMA, AVRS e AVMGP) (Tabela 6).

A validação dos resultados do coeficiente Kappa que está relacionado a exatidão (acurácia) e credita veracidade com segurança os resultados estatísticos da pesquisa executada apresentou concordância na CI com AMA e AVRS, com pesos  $\leq 0,70$  em todos os anos. Por outro lado, o coeficiente de Kappa para as CI com AVMP apresentaram alta concordância nos resultados obtidos e pesos excelentes em todos os anos de estudo, com valores  $\leq 0,84$ .

**Tabela 5:** Quantificação em hectares (ha) da distribuição espacial do uso e ocupação do solo do perímetro do município de Rio Verde. Resultado da classificação por árvore de decisão hierárquica (CADH), com classes de interesse (CI) – AMA, AVRS e AVMGP, calculadas através da extração de valores de índices espectrais (VI's).

Classes	Anos			
	1985	2004	2014	2019
	Áreas (ha)			
AMA	2.169,01	2.987,36	3.179,58	3.957,65
AVRS	1.319,21	1.789,06	1.495,56	1.154,21
AVMGP	2.659,28	1.349,71	1.475,17	1.037,70
Área total	6.147,00	6.147,00	6.147,00	6.147,00

\* CI - AMA: Áreas muito antropizadas; AVRS: Áreas de vegetação rasteira e solo exposto; AVMGP: Áreas de vegetação de médio e grande porte.

**Tabela 6:** Resultados obtidos através do processo de validação para a condição proposta (algoritmo) para classificação do uso e ocupação do solo do perímetro urbano de Rio Verde: Estimativas relacionadas a Taxa de classificação correta (TCC), Estimativas de sensibilidade (SEN), Estimativas de especificidade (ES) e coeficiente de Kappa.

Classes	Anos															
	1985				2004				2014				2019			
	TCC	SEN	ESP	kap.	TCC	SEN	ESP	kap.	TCC	SEN	ESP	kap.	TCC	SEN	ESP	kap.
AMA	0,90	0,90	0,89	0,79	0,90	0,90	0,89	0,79	0,90	0,89	0,90	0,79	0,87	0,85	0,90	0,74
AVRG	0,88	0,87	0,90	0,77	0,86	0,88	0,84	0,72	0,88	0,90	0,87	0,77	0,87	0,88	0,83	0,73
AVMGP	0,87	0,89	0,95	0,84	0,87	0,93	0,91	0,84	0,87	0,93	0,93	0,86	0,87	0,91	0,95	0,95

\* CI - AMA: Áreas muito antropizadas; AVRS: Áreas de vegetação rasteira e solo exposto; AVMGP: Áreas de vegetação de no médio e grande porte.

**Estimativa da temperatura da superfície**

De modo geral os resultados demonstraram que a concentração de pixels com maiores valores de TS para todos os anos do período do estudo, foram encontradas nos solos de áreas muito antropizadas (AMA) (Tabela 5). Para o ano de 1985 a avaliação do uso do solo através da valoração de pixels do perímetro urbano de Rio Verde apresentou uma diferença de TS de 5,27°C das áreas de cobertura verde (AVMGP) para áreas muito antropizadas (AMA) (Tabela 5). Para o ano de 2004 as CI de AVMGP – áreas com vegetação de médio e grande porte apresentaram valores de concentração de pixels da TS de 14,66% inferior aos valores de temperatura das áreas muito antropizadas AMA (Tabela 7). Para o ano de 2014, a TS das áreas de vegetação de médio e grande

porte (AVMGP) apresentaram o menor valor das classes avaliadas. Apresentaram ainda valores de concentração de pixels da TS com percentual de 11,32% inferior às áreas muito antropizadas (AMA).

Ainda no ano de 2014 houve diferença inexpressiva nas médias de temperatura (TS) das áreas de vegetação rasteira e solo exposto (AVRS) para as áreas muito antropizadas (AMA), de somente 1,16 % (Tabela 7). Para o ano de 2019 as médias de TS, foram muito semelhantes em todas as classes avaliadas. Entretanto, quando as médias são comparadas ao ano inicial do estudo, observou-se acréscimo de 19,75% na TS do ano de 2019 para o ano de 1985 nas áreas de vegetação de médio e grande porte (AVMGP) (Tabela 7).

**Tabela 7:** Estimativas das médias (IC $\pm$  95%) referentes aos anos de estudo (1985 a 2019), utilizando modelo de canal único (bandas 6 e 10 da dos sensores Landsat/TM-5, e Landsat/TIRS-8) e temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) referentes ao município de Rio Verde.

Anos	1985	2004	2014	2019
	T/IC (C°)	T/IC (C°)	T/IC (C°)	T/IC (C°)
AMA	36,05 $\pm$ 0,045	38,78 $\pm$ 0,03	35,5 $\pm$ 0,02	36,92 $\pm$ 0,04
AVRS	35,27 $\pm$ 0,02	38,40 $\pm$ 0,02	35,09 $\pm$ 0,02	36,86 $\pm$ 0,05
AVMGP	30,78 $\pm$ 0,06	33,82 $\pm$ 0,05	31,89 $\pm$ 0,05	36,86 $\pm$ 0,02

\*CI - AMA: Áreas muito antropizadas; AVRS: Áreas de vegetação rasteira e solo exposto; AVMGP: Áreas de vegetação de no médio e grande porte.

### Temperatura da Superfície

A Figura 3 representa dos resultados do processamento de dados da temperatura da superfície (TS) em concentração de pixels representados de valores em °C através de mapas. Estes, foram elaborados a partir de imagens extraídas no mês de agosto do inverno meteorológico. É evidente que as temperaturas foram inferiores aos demais período do ano, característica normal para a época de imageamento, destacando o ano de 2014, com a menor temperatura de todo período de estudo.

Nas áreas em que as temperaturas oscilam entre 22°C e 30°C, predominam as tonalidades de verde, sendo que as temperaturas entre 22°C  $\geq$  25°C são caracterizadas com os de verde escuro e temperaturas maiores oscilando entre 28°C  $\geq$  30°C nos tons de verde claro. Nas áreas em que as temperaturas <30°C alcançando até 32°C são apresentadas em tom de amarelo. As temperaturas  $\leq$  32°C  $\geq$  37°C, as temperaturas aparecem em tons de laranja. Por fim as temperaturas < 37°C são apresentadas em tons de vermelho.

### Comparação das médias de temperatura com a classificação do uso e cobertura do solo

O mapa de uso e ocupação do solo/temperatura da superfície apresenta a comparação dos efeitos e/ou impactos ocasionados pela expansão urbana do município de Rio Verde (Figura 4). Através dos mapas de temperatura da superfície (TS), comprovou-se a elevação que nos valores e médias de temperatura deve-se principalmente ao tipo de cobertura do solo aplicado a cada superfície, nesse sentido a

temperatura obtida variava de acordo com o tipo de solo avaliado.

Constatou-se que as (TS), das cenas do ano de 1985, apresentaram os menores médias de temperaturas da superfície com valores dos pixels nas áreas AVRS e AVMGP e temperatura mais elevadas nas de solos impermeabilizados (áreas muito antropizadas - AMA) (Figura 4 – 1985A/B), com diferença de média de TS 34,48% (AMA) > (AVRS e AVMGP).

Constatou-se que os maiores valores de temperatura, ocorridos no intervalo entre 39° e 45°C estão nas áreas intensamente urbanizadas do ano de 2004. Confirmando que a redução de paisagens naturais contribui para o aquecimento da superfície, e que áreas com cobertura verde têm menor índice de temperatura (Wheng et al., 2019; Aboelnour et al., 2018; Silva, 2016). Para o ano de 2014 a TS das áreas construídas ou solos impermeabilizados (AMA) foi 36.86% maior que das áreas com cobertura verde. O mapeamento de usos do solo do ano de 2014 (Figura 4).

Percebeu-se para o ano de 2019, as maiores discrepâncias nas amplitudes térmicas, pois os valores de áreas antropizadas (AMA), foram muito semelhantes as áreas de vegetação de médio e grande porte (AVMGP) e mesmo áreas com resquícios de cobertura verde, houve aumento nas amplitudes térmicas.

Estudos com índices espectrais e elementos climáticos sugerem que áreas com cobertura verde contribuem para amenizar as amplitudes térmicas urbanas. Comparando as áreas classificadas com as TS para o ano de 2019, verificou-se que as áreas de solos impermeabilizados, caracterizadas como AMA, os valores de TS foram de 31,2% superior às áreas com cobertura verde.

Em comparação ao ano inicial do estudo, verificou-se acréscimo de 16% das TS máxima do ano de 1985 para o ano de 2019. Em relação as TS mínimas, o ano de 2019 apresentou uma TS-mínima de 23,07% superior em relação a TS – mínima do ano de 1985 (Figura 3 e 4).

Em comparação ao ano anterior, 2014, a TS –máxima foi 10,25% inferior em relação ao ano de 2019 nas áreas caracterizadas como áreas muito antropizadas (AMA) e a TS-mínima do ano de 2019 foi 6,67% superior a TS-mínima do ano de 2014 (Figuras 3 e 4).

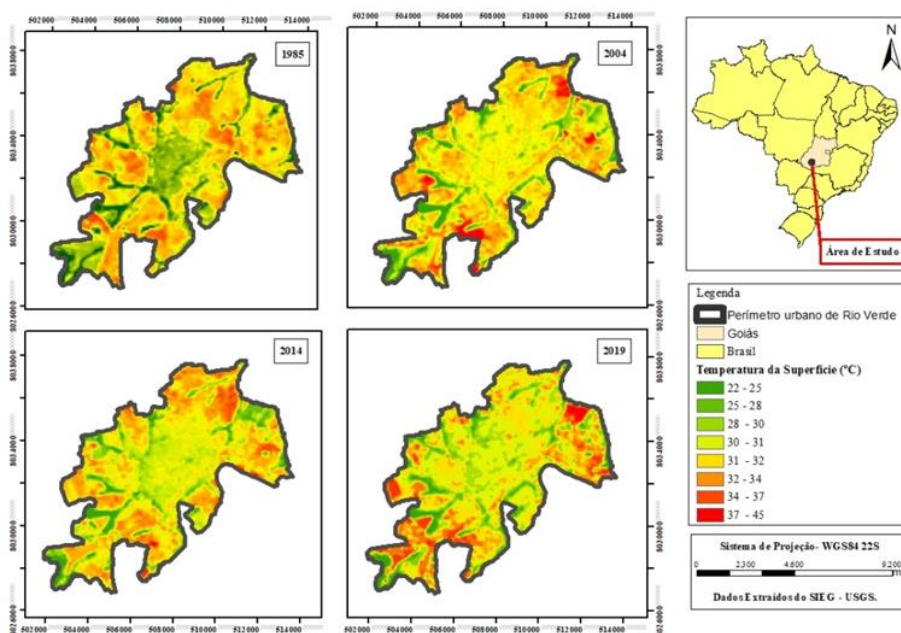


Figura 3: Médias de temperatura da superfície para os anos de 1985 a 2019. Distribuição das classes e suas características - AMA: Áreas muito antropizadas; AVRS: Áreas de vegetação rasteira e solo exposto; AVMGP: Áreas de vegetação de médio e grande porte.

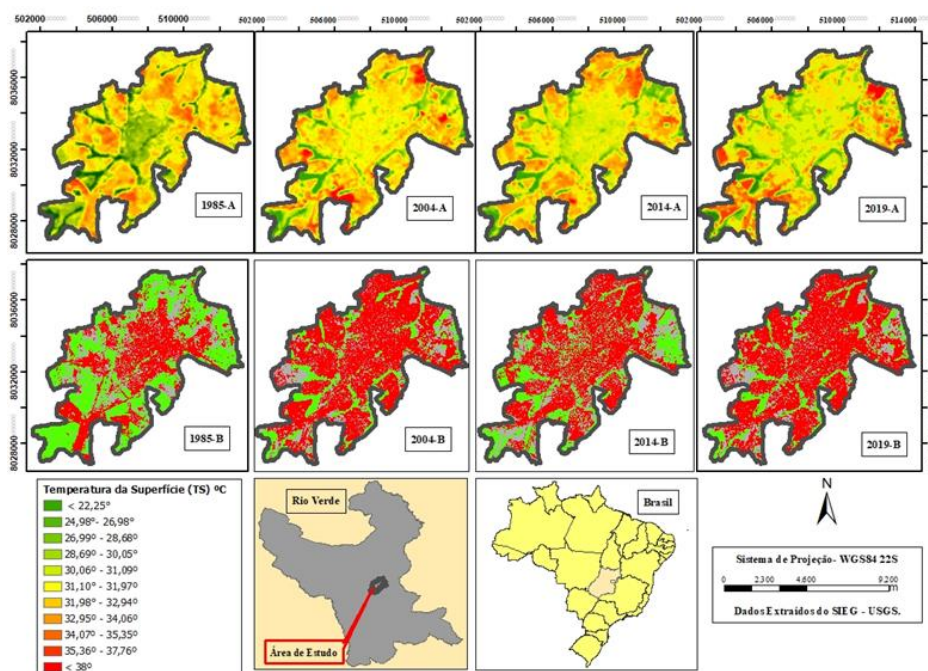


Figura 4: Comparação da classificação do uso do solo, a distribuição espacial de cada classe discriminada, com as médias de temperatura da superfície para os anos de 2004 e 2014. Distribuição das classes e suas características - AMA: Áreas muito antropizadas; AVRS: Áreas de vegetação rasteira e solo exposto; AVMGP: Áreas de vegetação de médio e grande porte.

A comparação das áreas que sofreram grandes processos de supressão de vegetação com os valores de temperatura do estudo, corrobora com perspectivas amplamente bem difundidas em diversos estudos anteriormente (Zhang et al., 2009; Liu et al., 2017; Yao et al., 2018; Wang et al., 2020). A avaliação da série temporal de mapas urbanos foi consistente com estudos em que a

redução na proporção de áreas com cobertura vegetal densa está diretamente relacionada ao aumento percentual de TS (Ferreira, 2020).

E a temperatura da superfície da terra (TS) tem relação direta com as variáveis microclimáticas, trabalhando como parâmetro utilizado para avaliar a intensidade de ilhas de calor urbana (Yao et al., 2018; Wang et al., 2020). Cada

tipo de superfície emite um potencial de absorção/reflexão de radiação eletromagnética específica, possibilitando a identificação das variações estruturais para caracterizar parâmetros biofísicos (Stewart, 2014; Ferreira, 2020), assim feições com expressivo teor de materiais impermeáveis possuem mais picos de calor em relação as feições vegetadas (Mathew et al., 2018).

As interações relacionadas aos fluxos de calor da superfície terrestre estão ligadas ao tipo de corpo receptor, considerando que o tipo de cobertura que compõem o solo reflete um fluxo de calor com maior ou menor intensidade, ressaltando que solos compostos por cobertura verde tem potencial de arrefecimento na temperatura de superfícies urbanizadas (Zhang et al., 2009; Liu et al., 2017; Arjasakusuma et al., 2020).

Os índices biofísicos que compõem a cobertura do solo se relacionam distintamente os níveis de transferência de energia com as alterações da temperatura da superfície (TS) em uma paisagem urbana (Guha et al., 2020). Destacando que áreas compostas de superfícies altamente impermeabilizadas tem maior potencial de retenção energia térmica (Chatterje et al., 2017; Weng et al., 2019).

Observa-se ainda que uma baixa proporção de solos com vegetação densa prejudica a oferta suficiente de serviços do ecossistema urbanizado (Artimann et al., 2019). As transições dos tecidos urbanos intensificaram as (ICU) e alteraram o potencial de absorção de radiação solar da superfície, resultando em aquecimento do microclima urbano (Yao et al., 2018; Orimoloye et al., 2018).

A modelagem matemática, comprovou dados encontrados em outros estudo que especifica que superfícies densamente impermeabilizadas apresentam temperaturas mais elevadas, do que as superfícies compostas por vegetação (Singh et al., 2017). Vários estudos identificaram tendências crescentes de aumento na temperatura e ainda que dinâmica socioespacial das cidades influencia os picos de ilhas de calor urbana, independente da extensão da área (Yao et al., 2018; Zhou et al., 2018; Ding et al., 2020). Os solos que compõem os materiais urbanos são formados por substâncias radiativas e termicamente ativas que apresentam forte influência na formação de ilhas de calor (Zhou et al., 2012; Miao et al., 2016).

Áreas urbanizadas são basicamente formadas por constituintes artificiais como asfalto e concreto que favorecem a absorção e retenção de energia solar, que ocasiona aumento da temperatura das superfícies (Christen e Vogt, 2004; Miles e Esau, 2017). Existindo forte correlação entre os altos índices de NDVI em áreas vegetadas

e baixas temperaturas das superfícies, ressaltando que áreas com cobertura verde tem menor índice de temperatura (Wheng et al., 2019; Singh et al., 2017; Silva, 2016).

Áreas com solos isentos de vegetação ou com arquitetura extremante urbanizados, possuem uma tendência ao aquecimento da temperatura da superfície e ao aparecimento de anomalias térmicas como as ilhas de calor urbano (ICU) (Yang et al., 2017; Wheng et al., 2019). Em outros estudos, constatou-se que o comportamento térmico da TS se tornou superior em áreas em que a vegetação estava em declínio contínuo, alcançando diferença de TS em média 5,70 °C, revelando a tendência de resfriamento de TS com aumento de cobertura verde (Miao et al., 2016; Sharma, 2018; Tayyebi et al., 2018).

Ou seja, os processos de aquecimento da TS estão correlacionados a composição do solo, onde ilhas de calor estão significativamente presentes, com superfícies com percentuais inferiores de vegetação e com irradiação solar superior em tecidos impermeabilizados (Sheng et al., 2009; Heint et al., 2015; Shaker et al., 2019).

## Conclusão

A construção de um algoritmo utilizando a classificação de árvore de decisão hierárquica (CADH) para detectar o nível de fragmentação de florestas urbanas entre os anos estudados no município de Rio Verde mostrou-se eficiente.

A mesma abordagem para a identificar impactos microclimáticos através de modelo de canal único na estimativa da temperatura da superfície neste período foi eficaz também para classificar o uso do solo e para discriminar diferentes categorias de cobertura da superfície em meio urbano. Ainda, pode constatar com a classificação do uso e ocupação do solo, o aumento de camadas de superfície termicamente ativas, resultando em alterações na temperatura da superfície e comprovando que a intensidade das ilhas de calor é superior em áreas de solos impermeabilizados.

E por fim concluiu-se, que a expansão urbana, assim como os demais parâmetros ambientais ocasionados por esta, foram a principal força motriz e causa dessas modificações e impactos no microclima, observados no município.

## Referências

Andrade, A. M. D.; Moura, M. A. L.; Santos, M. A. L.; Santos, A. B.; Carneiro, R. G.; Junior, R. S.; Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente e refletida acima e abaixo do dossel de floresta de mata atlântica em Coruripe, Alagoas.

- Revista Brasileira de Meteorologia, 29, 68-79, 2014.
- Aboelnour, M., Engel, B. A. Application of Remote Sensing Techniques and Geographic Information Systems to Analyze Land Surface Temperature in Response to Land Use/Land Cover Change in Greater Cairo Region, Egypt. *Journal of Geographic Information System*, v. 10, p. 57-88. 2018.
- Angelini, L.P. et al. Balanço de Energia nas Condições de Mudanças de Uso do Solo na Região Sul do Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 353-363, 2017.
- Arjasakusuma, S., Mutaqin, Bw, Sekaranom, Ab; Marfai, Ma. Sensibilidade de proxies de vegetação baseados em sensoriamento remoto às variabilidades do clima e da temperatura da superfície do mar na Austrália e partes do Sudeste Asiático. *International Journal of Remote Sensing*, 41 (22), 8631–8653, 2020. [doi: 10.1080 / 01431161.2020.1782509]
- Artmann, M.; Kohlera, M.; Meinela, G.; Ganb, J.; Iojac, I.-C. How smart growth and green infrastructure can mutually support each Other - A conceptual framework for compact and green cities. *Ecological Indicators*, v. 96, parte 2 pp.10-22.2017. [http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.001]
- Bala, R.; Prasad, R.; Yadav, V. P. A comparative analysis of day and night land surface temperature in two semi-arid cities using satellite images sampled in different seasons. *Advances in Space Research*, 66, 412-425, 2020.
- Barbosa, A. H. S.; Carvalho, G. R.; Camacho, R.G.V. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre –Estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 33, p.128-143. 2017.
- Bullock, E.; Woodcock, C.; Olofsson, P. Monitoring tropical forest degradation using spectral unmixing and Landsat time series analysis. *Remote Sensing of Environment*, v. 238 ,110968. [10.1016 / j.rse.2018.11.011]
- Campos, M. B. L. M. B.; Danelichen, V. H. M. Sensoriamento Remoto e Estudos de Clima Urbano. *ENSAIOS E CIÊNCIA (CAMPO GRANDE. IMPRESSO)*, v. 25, p. 195-199, 2021. [https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n2p195-199]
- Carneiro, G. T., et al Cobertura Florestal do Município de Rio verde, go: Estrutura e Composição da Paisagem Entre 2005 e 2008 – Ateliê Geografico, 36, 335-357, mai./ago. 2011. Rio Claro, 2011.
- Chakraborty, T; Lee, S. A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, v.174, p. 269-280, 2019. [ https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.09.015]
- Chatterjee, R.S.; Singh, N.; Thappa, S. et al., Retrieval of land surface temperature (LST) from landsat TM6 and TIRS data by single channel radiative transfer algorithm using satellite and ground-based inputs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 58, p. 264–277, 2017.
- Chen, M; Willgoose, G. R.; Saco, P. M.; Investigating the impact of leaf area index temporal variability on soil moisture predictions using remote sensing vegetation data. *Journal of Hydrology*, 522, 274–284, 2015.
- Congalton, R.G., K. Green. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 137 p., 1999.
- Coutts, A. M.; Harris, R. J.; Phana, T.; Livesley, S. T.; Williams, N. S. G.; Tapper, N. J.; Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning. *Remote Sensing of Environment*, v. 186, pp. 637–651, 2016. [http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.007]
- Christen, A.; Vogt, R. Energy and radiation balance of a Central European city. *International Journal of Climatology*, Chichester, v.24, p.1.395-1.421, 2004
- Danelichen, V. H. M.; Pereira, O. A. Estudo da Utilização de GPUs no Processamento de Imagens de Satélite. *UNICIÊNCIAS*, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 104–113, 2023. DOI: 10.17921/1415-5141.2023v27n2p104-113.
- Ding, H.; Xu, L.; Elmore, A. J.; Shi, Y. Vegetation Phenology Influenced by Rapid Urbanization of The Yangtze Delta Region. *Remote Sensing*. V. 12pp.1-18, 2020. [https://doi.org/10.3390/rs12111783]
- Ferreira, F. L. S.; Pereira, E. B.; Laback, L. C. Land surface temperature associated factors in urban areas: local climate zones and spectral characteristics. *Ambiente Construído*, v. 21. 2021. [https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100504]
- Feitosa, S. M. R., Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina – Piauí. *Revsbau, Piracicaba (SP)*, 6, 58-75, 2011.
- Gao, B. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid

- water from space. *Remote Sensing of Environment*. V. 58, p. 257-266, 1996.
- Gautam, V. K.; Gaurava, P. V.; Murugana, P.; Annadurraia, M. Assessment of Surface Water Dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, Supervised Classification and K-T Transformation, *Aquatic Procedia* V. 4, p. 739 – 746, 2015.
- Gohain, K. J.; Mohammad, P.; Goswami, A. Assessing the impact of land use land cover changes on land surface temperature over Pune city, India. *Quaternary International*, 2021. [<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.052>]
- Gounaridis, D.; Koukoulas, S. Urban land cover thematic disaggregation, employing datasets from multiple sources and Random Forests modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.51, p.1–10, 2016.
- Guha, S.; Govil, H.; Dey, A.; Gill, N. A case study on the relationship between land surface temperature and land surface indices in Raipur City, India. *Geografisk tidsskrift*, p.35-50, vol.120(1), 2020.
- Heinl, M.; Hammerlea, A.; Tappeinera, U.; Leitinger, G. Determinants of urban–rural land surface temperature differences – A landscape scale perspective. *Landscape and Urban Planning*, v. 134 pp. 33–42, 2015. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.003>]
- Huang, X.; Wen, D.; Jiayi, L.; Rongjun, Q. Multi-level monitoring of subtle urban changes for the megacities of China using high-resolution multi-view satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 196, pp.56–75, 2017. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.0010034-4257>]
- Huia, Y., Zhang, A. Q., Xua, C., et al Vegetation's role in controlling long-term response of near ground air temperature to precipitation change in a semi-arid region. *Journal of Arid Environments* Available. 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Site. 2016. <<https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca15/brasil>>
- Imam, A.; Banerjee. Urbanization and Greening of Indian Cities: Problems, Practices and Policies. *Ambio*, United Kingdom. *Ambio*, Reino Unido, 2016. v. 45, 442–457 [<https://doi.org/10.1007/s13280-015-0763-4>]
- INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Agrometeorologia - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Site, 2022.
- Jimenez-Muñoz, J. C.; Sobrino, J.A. PAOLINI, L. *Remote Sensing of Environment*, v.90, p. 434–440, 2004.
- Jiménez-Muñoz, J. C.; Sobrino, J. A.; Skokovic, D. Mattar, C. Cristóbal, J. Land Surface Temperature Retrieval Methods from Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11, 1840-1843, 2014.
- Li, X.; Zhou, Y.; Ghassen, R. A.; Zhu, Z. Developing a 1 km resolution daily air temperature dataset for urban and surrounding areas in the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment* v.215, p. 74–84, 2018. [<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.034>]
- Li, X.; Gong, P.; Liang, L. A 30-year (1984–2013) record of annual urban dynamics of Beijing City derived from Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, v. 166, pp. 78–90. 2015. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.06.0070034-4257>]
- Liu, F.F.; Wei, J. Y.; Kong, F. H.; Yin, H. W.; Xu, W. B. A review on the urban green space cooling effect based on field measurement of air temperature. v. 4, PP 1387-1396, 2017. [ doi: 10.13287 / j.1001-9332.201704.012]
- Liu, S.; Zhang, Y. O.; Cheng, F.; Zhao, X. H. S. Resposta da Degradação das Pastagens à Seca em Diferentes Escalas de Tempo na Província de Qinghai: Características Espaciais-Temporais, Correlação e Implicações. *Remote Sensing*, v.9, p.1329, 2017.
- Liu, Y., Songa, W.; Deng, X. Understanding the spatiotemporal variation of urban land expansion in oasis cities by integrating remote sensing and multi-dimensional DPSIR-based Indicators. *Ecological Indicators*, v. 96 pp. 23–27, 2019, [<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.029>]
- Loew, A.; Stackel, T.; Dorigo, W.; Jeu, R.; Hagemann, S. Potential and limitations of multidecadal satellite soil moisture observations for selected climate model evaluation studies. *Hydrology Earth System Science*. v.17, p.3523–3542, 2013. [Doi: 10.5194 / hess-17-3523-2013]
- Malik, S.; Pal, S. C.; Sattar, A.; Singh, S. K.; Das, B.; Chakraborty, B.; Mohammad, P. Trend of extreme rainfall events using suitable Global Circulation Model to combat the water logging condition in Kolkata Metropolitan Area. *Urban Climate*, v.32, p. 100599, 2020.
- Mathew, A.; Khandelwal, S.; Kaul, N. Analysis of diurnal surface temperature variations for the assessment of surface urban heat island effect over Indian cities. *Energy and Buildings*, V.

- 159, p.271-295, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.062>
- Mendonça, J. C., Sales, R. S. B., & Sales, D. da S. (2022). Balanço de Energia no perímetro urbano de Campos dos Goytacazes, RJ: Um estudo de caso. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 15(6), 3093–3105. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p3093-3105>
- Miao, C; Kong, D.; Wu, J. et al., Functional degradation of the water–sediment regulation scheme in the lower Yellow River: Spatial and temporal analyses. *Science of the Total Environment*, v. 551–552 p.16–22, 2016. [Doi: 10.1016 / j.scitotenv.2016.02.006]
- Miles, V.; Esau, I., Seasonal and Spatial Characteristics of Urban Heat Islands (UHIs) in Northern West Siberian Cities, *Remote Sensing*, 9, 988-100, 2017.
- Nurwanda, A.; Honjo, T. The prediction of city expansion and land surface temperature in Bogor City, Indonesia. *Sustainable Cities and Society*, v. 52, n. 101772, 2020. [<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101772>]
- Oke, T. R.; *Climatic Impacts of Urbanization. Interation of Energy and Climate*. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht: Holland, Boston: U.S.A., p.339-357, 1980.
- Orimoloye, Ir, Mazinyo, Sp, Nel, W. et al. Monitoramento espaço-temporal da temperatura da superfície terrestre e radiação estimada usando sensoriamento remoto: implicações para a saúde humana no leste de Londres, África do Sul. *Environ Earth Sci* 77, 77 (2018). [<https://doi.org/10.1007/s12665-018-7252-6>]
- Pereira, M. V. D.; Danelichen, V. M.; Batista, M. B. L. M. B. C. Investigação do Uso de Parâmetros Biofísicos na Influência do Microclima Dentro de Áreas Urbanas. *Ensaio e ciência (campo grande. Impresso)*, v. 25, p. 16-20, 2021. [<https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n1p16-20>]
- Silva, P. B. S., Identificação de anomalias térmicas por sensoriamento remoto em Cuiabá/MT /. *Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá*, 2016.
- Silveira, P. C. da, Campos, C. G. C., Sá, E. A. S., Biffi, L. J., & Dalri, J. C. (2023). Análise das superfícies urbanas para identificação de ilhas de calor através da aplicação de índices radiométricos e da temperatura da superfície. *Revista Brasileira De Climatologia*, 33(19), 329–353. <https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.16322>
- Sharma, R.; Ghosh, A.; Joshi, P.K. Analysing spatio-temporal footprints of urbanization on environment of Surat city using satellite-derived bio-physical parameters, *Geocarto International*, 28:5, 420-438, 2013.
- Sharma, I. Modeling of vegetation index and land surface temperature to identify and compare the changing trends, using generalized estimating equations. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, v. 3(4): pp. 279-286, 2018. [DOI:10.22034/IJHCUM.2018.04.02]
- Shaker, Rr; Altman, Y; Deng, C.; Vaz, E.; Forsythe, Kw. Investigating urban heat island through spatial analysis of New York City streetscapes. *Journal of Cleaner Production* v. 233, p 972- 992, 2019. [doi: 10.1016 / j.jclepro.2019.05.389]
- Sheng, J.; Wilson, J. P. Lee, S. Comparison of land surface temperature (LST) modeled with a spatiallydistributed solar radiation model (SRAD) and remote sensing data. *Environmental Modelling & Software*, v. 24, p. 436–443, 2009. [doi:10.1016/j.envsoft.2008.09.003]
- Singh, P.; Kikon, N.; Verma, P.; Impact of land use change and urbanization on urban heat island in Lucknow city, Central India. A remote sensing based estimate. *Sustainable Cities and Society*, v. 32 pp. 100–114, 2017. [[dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.018](https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.018) 2210-6707]
- Sobrinho Neto, F. S.; Danelichen, V. H. de M. Estudo do Uso de Índices de Vegetação nas Culturas do Brasil. *UNICIÊNCIAS*, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 100–107, 2023. DOI: 10.17921/1415-5141.2022v26n2p100-107.
- Stewart, I. D.; Oke, T. R.; Krayenhoff, E. S. Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 4, p. 1062-1080, mar. 2014.
- Tayyebi, A.; Shafizadeh-Moghadam, H.; Tayyebi, A. H. Analyzing long-term spatio-temporal patterns of land surface temperature in response to rapid urbanization in the mega-city of Tehran - *Land Used Policy*, v. 71, p. 459-469. 2018. [<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.023>]
- USGS (United States Geological Survey). Using . Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/using>
- Viana, Cm; Oliveira, S.; Oliveira, Sc; Rocha, J. Land Use/Land Cover Change Detection and Urban Sprawl Analysis. *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental*

- Sciences, v. 1 pp. 621-651, 2019. [DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00029-6>]
- Voogta, J. A.; Oke, T. R., Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003. [[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)]
- Wang, R.; Hou, H.; Murayama, Y.; Derdouri, A.; Spatiotemporal Analysis of Land Use/Cover Patterns and Their Relationship with Land Surface Temperature in Nanjing, China. *Remote sensing (Basel, Switzerland)*. 440, 12(3), 2020.
- Wenbin, Z.; Aifeng, L.; Shaofeng, J.; Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products. *Remote Sensing of Environment*, v. 130 pp. 62-73, 2013. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.034>]
- Weng, Q.; Firozjahi, M. K.; Kiavarz, M. et al., Normalizing land surface temperature for environmental parameters in mountainous and urban areas of a cold semi-arid climate. *Science of the Total Environment*, v. 650, p.515-529, 2019.
- Xiao, Q.; Tao, J.; Xiao, Y., et al., Monitoring vegetation cover in Chongqing between 2001 and 2010 using remote sensing data. *Research Center for Eco-Environmental Sciences*, 2017. DOI 10.1007/s10661-017-6210-1
- Xu, H. Modified Normalized Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v.27, p. 3025-303, 2006.
- Yang, J., Sun, J., Ge, Q.; Li, X. Assessing the Impacts of Urbanization-Associated Green Space on Urban Land Surface Temperature: A Case Study of Dalian, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22, 1-10, 2017. [[10.1016 / j.ufug.2017.01.002](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.002)].
- Yao, R., Wang, L., Huang, X., Zhang, W., Li, J.; Niu, Z. Variações interanuais na intensidade das ilhas de calor de superfície urbana e motivadores associados na China. *Journal of Environmental Management*, 222, 86-94, 2018. [[10.1016 / j.jenvman.2018.05.024](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.024)]
- Zhang, H.; Lin, H.; Wang, Y. A new scheme for urban impervious surface classification from SAR images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, V. 139, p. 103-118, 2018. [<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.03.007>]
- Zhang, Y., Odeh, I. O. A., Han, C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a subpixel image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 11, p. 256-264, 2009. [<https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.03.001>]
- Zheng, Z.; Zhou, W.; Wang, J.; Hu, X.; Qiang, Y. Sixty-Year Changes in Residential Landscapes in Beijing: A Perspective from Both the Horizontal (2D) and Vertical (3D) Dimensions. *Remote Sensing*, v. 9, p. 2-14, 2017.
- Zhou, D., Bonafoni, S., Zhang, L., Wang, R. Sensoriamento remoto do efeito da ilha de calor urbana em uma área de aglomeração urbana altamente populosa no leste da China. *Science of The Total Environment*, 628-629, 415-429, 2018. [[10.1016 / j.scitotenv.2018.02.074](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.074)]
- Zhou, Q.; Luo, Y.; Zhou, X.; Cai, M. C.; Zhao, C. Response of vegetation to water balance conditions at different time scales across the karst area of southwestern China—A remote sensing approach. *Science of the Total Environment*, v. 645, p. 460-470, 2018. [Doi: [10.1016 / j.scitotenv.2018.07.148](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.148)]
- Zhou, Y., Weng, Q., Gurney, K.R., Shuai, Y., Hu, X., 2012. Estimation of the relationship between remotely sensed anthropogenic heat discharge and building energy use. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* [<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.10>].
- Zhu, Z., Zhang, J., Yang, Z., Aljaddani, Ah, Cohen, Wb, Qiu, S., & Zhou, C. Continuous monitoring of land disturbance based on Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, V. 238, 111116, 2020 [[10.1016 / j.rse.2019.03.009](https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.009)]
- Zhu, Z.; Zhou, Y.; Seto, K. C.; Stokes, E. C.; Deng, C., Pickett, S. T. A.; Taubenböck, H. Understanding an urbanizing planet: Strategic directions for remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, v. 228, pp. 164-182, 2019. [[doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.020](https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.020)]