

## ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO E DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DAS ZONAS ESPECIAIS DE USO SUSTENTÁVEL (ZEUS) DE TERESINA, PI

CARVALHO, Rômulo Marques<sup>1</sup>  
ANDRADE, Carlos Sait Pereira de<sup>2</sup>  
SILVEIRA, Ana Lucia Ribeiro Camillo da<sup>3</sup>

Recebido (Received): 18-01-2021 Aceito (Accepted): 04-10-2021

Como citar este artigo: CARVALHO, R. M.; ANDRADE, C. S. P.; SILVEIRA, A. L. R. C. Análise da cobertura do solo e da temperatura de superfície das Zonas Especiais de Uso Sustentável (ZEUS) de Teresina, PI. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 933-953, 2021.

### Resumo

O Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) de Teresina, sancionado em 2019, dentre outras disposições, criou as Zonas Especiais de Uso Sustentável – ZEUS, definidas como “parcelas do território que apresentam [...] qualidade ambiental peculiar e significativa, patrimônio ambiental a ser protegido, compõem de forma significativa a paisagem local e constituem ecossistemas importantes”. Visando contribuir com a regulamentação complementar do PDOT, adotou-se como objetivo geral desta pesquisa: investigar como a cobertura do solo nas Zonas Especiais de Uso Sustentável pode ser regulamentada, de forma a evitar a formação de ilhas de calor nas ZEUS. Como técnica de pesquisa, adotou-se o estudo de relações entre variáveis, por meio da qual buscou-se identificar, descrever, quantificar e correlacionar as diferentes classes de cobertura do solo urbano de Teresina, especialmente, a das ZEUS. Após análise dos resultados, obtidos a partir de técnicas de sensoriamento remoto, observou-se que a natureza material da superfície do solo implicou diretamente na variação de sua temperatura superficial. Dessa forma, constatou-se a imprescindibilidade da regulamentação da cobertura do solo de projetos urbanísticos a serem implantados nas ZEUS, em vista a se evitar o aumento da temperatura ou da amplitude térmica superficial dessas zonas. Assegurar a urbanização sustentável das ZEUS deve ser uma das principais metas do Poder Público, em cumprimento aos objetivos da Agenda 2030 e do próprio PDOT, visto que estas são importantes instrumentos de combate aos efeitos negativos das mudanças climáticas na escala local.

**Palavras-chave:** Análise espacial. Temperatura de superfície. Uso e ocupação do solo. Zonas Especiais de Uso Sustentável de Teresina.

## LAND COVER AND SURFACE TEMPERATURE ANALYSIS OF SPECIAL SUSTAINABLE USE ZONES (ZEUS) IN TERESINA, PI

### Abstract

The Master Plan for Territorial Planning of Teresina (PDOT) enacted in 2019, among other things, has created the Special Sustainable Use Zones (ZEUS), defined as "parts of land that show [...] peculiar and significant environmental quality, environmental assets to be protected, which make up for the local landscape in a significant way and form important ecosystems". Aiming to contribute to the complementary regulation of PDOT, the general objective of this research was to investigate how the land cover in the Special Sustainable Use Zones may be regulated in order to avoid the formation of heat islands in the ZEUS. As research technique, we have studied the relationships between variables whereby we sought to identify, describe, quantify and correlate the different classes of urban land cover in Teresina, especially the ZEUS. After analyzing the results obtained from remote sensing techniques, it has been found that the material nature of the soil surface directly implied their surface temperature variation. Thus, it was verified the indispensability of land cover regulation of urbanistic projects to be implemented in the ZEUS, in order to avoid temperature increase in temperature or the surface heat amplitude of these zones. Ensuring the sustainable urbanization of the ZEUS must be one of the main **targets** of Public

<sup>1</sup> Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). E-mail: [mr\\_romulomarques@gmail.com](mailto:mr_romulomarques@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9232-9043>.

<sup>2</sup> Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Piauí (UFPI). E-mail: [carlossait@ufpi.edu.br](mailto:carlossait@ufpi.edu.br); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7102-2560>.

<sup>3</sup> Professora Doutora do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Piauí (UFPI). E-mail: [c\\_silveira@uol.com.br](mailto:c_silveira@uol.com.br); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2324-3964>.

Power, in compliance with the objectives of 2030 Agenda and from PDOT itself since these are important instruments to counteract the negative effects of climate change on a local scale.

**Keywords:** Spatial Analysis. Surface temperature. Land use and occupation. Special Zones of Sustainable Land-Use.

## **ANÁLISIS DE LA COBERTURA DEL SUELO Y LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE EN LAS ZONAS ESPECIALES DE USO SOSTENIBLE (ZEUS) DE TERESINA, PI**

### **Resumen**

El Plan Director de Ordenamiento Territorial (PDOT) de Teresina, aprobado en 2019, entre otras disposiciones, creó las Zonas Especiales de Uso Sostenible (ZEUS), definidas como "porciones del territorio que tienen [...] calidad ambiental peculiar y significativa, patrimonio ambiental a proteger, componen significativamente el paisaje local y constituyen ecosistemas importantes". Con el fin de contribuir a la regulación complementaria del PDOT, se adoptó como objetivo general de esta investigación, estudiar cómo regular la cobertura del suelo para evitar la formación de islas de calor en las ZEUS. Como técnica de investigación, se aplicó el estudio de las relaciones entre variables para identificar, describir, cuantificar y correlacionar las diferentes clases de cobertura del suelo urbano de Teresina, especialmente la de las ZEUS. De los resultados obtenidos mediante técnicas de teledetección, se ha observado que la naturaleza material de la superficie del suelo influye directamente en la variación de temperatura de la superficie. Así, se constató que es indispensable la regulación de la cobertura del suelo para los proyectos urbanísticos que se implementen en las ZEUS para evitar el aumento de temperatura o el rango de temperatura de la superficie de estas zonas. Garantizar la urbanización sostenible de las ZEUS debe ser una meta a ser alcanzada por la administración pública, en cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030 y del PDOT, que son instrumentos importantes para combatir los efectos negativos del cambio climático a escala local.

**Palabras clave:** Análisis espacial. Temperatura de la superficie. Uso y ocupación del suelo. Zonas Especiales de Uso Sostenible de Teresina.

### **1 Introdução**

Dois meses antecedentes ao início de uma das maiores crises humanitárias deste século – a Pandemia de COVID-19 –, a Organização das Nações Unidas (ONU) reunia-se para debater sobre o tema das mudanças climáticas, na Cúpula de Ação Climática 2019. Certamente, o discurso de Greta Thunberg, ativista sueca de 16 anos, clímax do evento, prenunciara o que hoje, embora por outro motivo, a humanidade vive: a necessidade de mudança de hábitos para garantir a sobrevivência.

Ao longo das últimas cinco décadas, nações têm celebrado acordos com o intuito de desacelerarem os impactos negativos do desenvolvimento predatório. Em 2015, com a elaboração da Agenda 2030, os 193 Estados-Membros da ONU, inclusive o Brasil, estabeleceram 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e 169 metas a serem alcançadas nos campos dos desenvolvimentos econômico, social e ambiental. No ano seguinte, em 2016, a ONU Habitat publicou a Nova Agenda do Urbanismo (NAU), uma expansão do 11º ODS, que traz diretrizes específicas para o planejamento urbano das cidades e dos assentamentos humanos no contexto do século XXI.

Dentre os compromissos assumidos em ambas as Agendas, estabeleceu-se o objetivo de controlar o aumento da temperatura média global ao limite de 1,5° C acima dos níveis pré-industriais. Além dos já conhecidos desequilíbrios ambientais provocados pelo aquecimento global, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), de 2019, evidenciou a relação entre o aumento da temperatura global e os atuais padrões de uso do solo, insustentáveis. Segundo o relatório, o solo atua tanto na emissão quanto no sequestro de CO<sub>2</sub>, com benefício líquido por ano, mas com o avanço do desmatamento, tal balanceamento está ameaçado (WMO, 2019).

O IPCC 2019 reconhece que incide, ainda, sobre os espaços urbanos, um fenômeno amplificador dos impactos advindos do aumento da temperatura global: as ilhas de calor. A NAU comprometeu-se em buscar reduzir os custos financeiros, ambientais e de saúde decorrentes dos efeitos deste fenômeno, presente em todas as cidades, mesmo que em diferentes escalas (LANDSBERG, 1981).

Ilha de Calor Urbana (ICU) é um fenômeno microclimático em que uma cidade, ou fração dela, apresenta temperatura do ar mais elevada em dadas áreas do que em outras, umidade relativa do ar mais baixa, alterações na velocidade dos ventos e no comportamento pluviométrico. Impactam negativamente não apenas o conforto térmico ambiental, mas a qualidade do ar, fato que projeta tal fenômeno como uma questão de saúde pública (ROMERO, *et al.*, 2019).

As ilhas de calor são fenômenos indesejáveis a qualquer cidade, principalmente quando esta localiza-se em uma região de alta incidência de radiação solar, como a Zona Tropical, delimitada pelas latitudes 23,5° N e 23,5° S. De acordo com Gartland (2010, p. 9) são formadas “porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do sol do que materiais naturais”. Isto ocorre devido aos baixos valores de refletância à radiação solar<sup>4</sup> e ao comportamento da emissividade térmica<sup>5</sup>, duas propriedades dos materiais que podem ser reguladas pelo ordenamento jurídico referente ao uso e ocupação do solo.

Teresina, capital do estado do Piauí, localiza-se na latitude 5°05' Sul, em uma das porções territoriais mais quentes do país. Seu clima, de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), é tropical-equatorial com seis meses secos. Segundo a Normal Climatológica do Brasil 1981-2010, nesse período, enquanto as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste

---

<sup>4</sup> “Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (ABNT, 2005, p. 3).

<sup>5</sup> “Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura” (ABNT, 2005, p. 3).

apresentaram, respectivamente, 26° C, 25° C, 24° C, 19° C e 22° C de temperatura média compensada anual, a capital piauiense registrou a média de 28° C (INMET, 2010).

Estudos como os de Nunes, Espindola e Lopes (2019), Araújo e Andrade (2017), Santiago (2017) e Simões e Almeida Júnior (2018) evidenciam elevações, ao longo das últimas décadas, na variável climática temperatura e a formação e evolução das ilhas de calor nos espaços urbanos de Teresina. Albuquerque e Lopes (2016) demonstram a relação da temperatura do ar com o uso do solo de alguns bairros teresinenses, mais elevada em localidades caracterizadas por altas taxas de ocupação e sem percentual expressivo de vegetação.

Santiago (2017), ao comparar valores de Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), em pontos situados nos municípios de Teresina e Timon, no intervalo entre 2004 e 2016, observou que com o avanço da urbanização, houve diminuição da massa vegetal. O autor demonstra, ainda, que conforme o NDVI médio foi caindo (de 0,617 para 0,381), a temperatura superficial média anual foi aumentando (de 22° C para aproximados 33° C nas amostras adotadas no estudo).

Com o intuito de mitigar ou evitar este e outros efeitos negativos do processo de urbanização<sup>6</sup>, a Prefeitura Municipal de Teresina (PMT), por intermédio da Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação (SEMPPLAN), elaborou, entre os anos de 2016 e 2019, a revisão do plano diretor da cidade, denominado de Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), instituído pela Lei Complementar Nº 5.481, de 20 de dezembro de 2019.

Por meio desse instrumento, alinou-se a Política de Desenvolvimento e Resiliência Territorial (PDRT) do município aos objetivos da Agenda 2030, que orientará o desenvolvimento local sob os princípios da sustentabilidade. A PDRT deverá ser implementada para que os processos antrópicos aceleradores das mudanças climáticas possam ser reduzidos, tais como a alteração da composição química natural da atmosfera, o aumento de áreas impermeáveis e a urbanização horizontal excessiva (TERESINA, 2019).

Com o novo zoneamento urbano estabelecido, aumentou-se a área de zonas de interesse ambiental, ao passo que se ampliaram as possibilidades legais de uso do solo nessas porções territoriais. As disposições então vigentes, previstas na Lei Complementar Nº 3.563, de 20 de outubro de 2006 (“Lei da Preservação Ambiental”), criavam oito tipos de Zonas de Preservação Ambiental (ZPs), que abrangiam desde praças às matas ciliares dos cursos d’água naturais perenes.

---

<sup>6</sup> E para fazer-se cumprir o disposto no parágrafo 3º do artigo 40 da Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, que prevê a revisão, pelo menos, da lei que instituir o plano diretor a cada 10 anos. Até então, o Plano Diretor de Teresina era instituído pela Lei Nº 3.3558, de 20 de outubro de 2006.

Embora em menor área territorial, essas ZPs condicionavam o uso do solo a um conjunto específico de atividades, como recreação, cultura e lazer, implantação de parques, praças e equipamentos de recreação urbana e, nos casos das ZP5, Áreas de Preservação Permanentes (APPs<sup>7</sup>), os usos autorizados pela legislação federal. Este zoneamento, no entanto, não incorporava à política de preservação ambiental as faixas marginais dos cursos d'água intermitentes ou efêmeros. Tal proteção veio a existir em 2015, com a criação da Lei Complementar Nº 4.724, de 3 de junho de 2015.

Com a sanção do PDOT, todas essas zonas foram unificadas e passaram a ser denominadas de Zonas Especiais de Uso Sustentável (ZEUS), definidas como “parcelas do território que apresentam [...] qualidade ambiental peculiar e significativa, patrimônio ambiental a ser protegido, compõem de forma significativa a paisagem local e constituem ecossistemas importantes” (TERESINA, 2019, p. 29).

Embora sejam zonas de interesse ambiental, novos processos (ou ampliações) de urbanização e a prática de diversas atividades são admitidos nas ZEUS, desde que não haja descaracterização do seu valor ambiental. Na hipótese de ocupação, o empreendedor deverá comprovar a ausência de prejuízos ambientais, a segurança da população e a adoção de construções sustentáveis. Não existem padrões de uso e ocupação de solo pré-estabelecidos: cada processo de licenciamento deverá ocorrer em atenção às diretrizes de ocupação definidas pela Comissão Técnica Multidisciplinar<sup>8</sup> em cada caso (TERESINA, 2019).

O artigo 106 do PDOT, em seu parágrafo primeiro, reserva ao Executivo Municipal a competência de emissão de norma de regulamentação da ocupação das ZEUS. Ainda segundo este artigo “a depender do tipo de empreendimento pretendido para as ZEUS, o Poder Público solicitará o Estudo de Impacto de Vizinhança, que exigirá as medidas mitigadoras e/ou compensatórias compatíveis” (TERESINA, 2019, p. 30).

De acordo com a espacialização de valores de NDVI, elaborada por Leite (2018) em setembro de 2017, para o município de Teresina, observa-se que as maiores leituras (entre 0,61 e 0,75) sobrepõem-se às áreas das ZEUS, porções territoriais que, ainda em consonância com o autor, apresentaram as menores temperaturas superficiais (de 32° C a 35° C). Isto é, as ZEUS são ilhas de frescor do espaço urbano da cidade.

---

<sup>7</sup> As APPs, a partir de 2019, passaram a integrar as Zonas Especiais de Uso Sustentável, sobre as quais incidem, portanto, disposições das legislações municipal e federal.

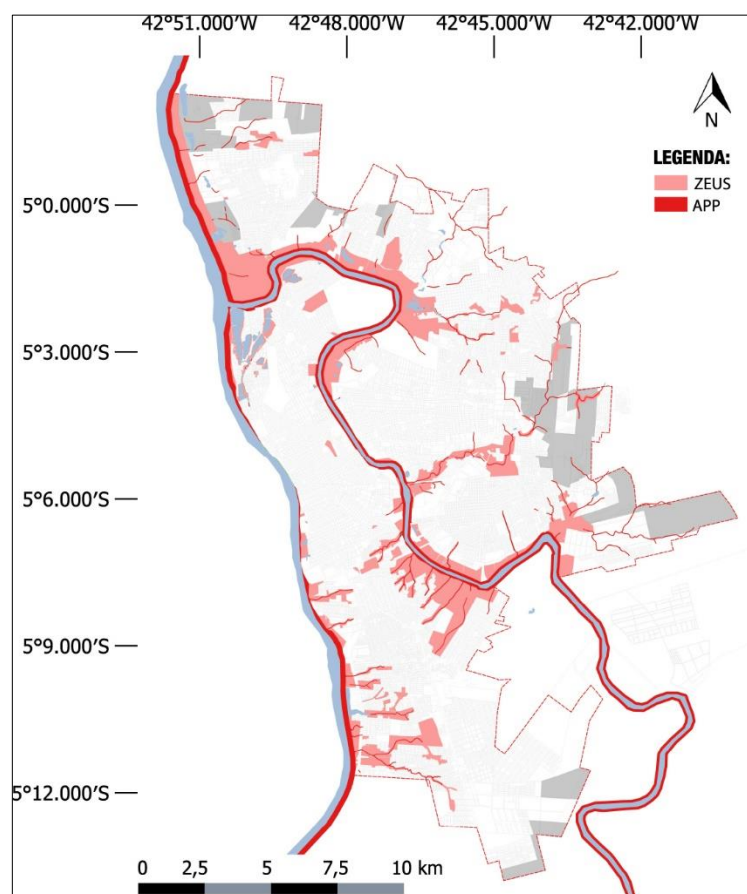
<sup>8</sup> Órgão executivo do Sistema de Acompanhamento e Controle do PDOT vinculado à Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação.

Nesse sentido, adotou-se como objetivo geral desta pesquisa, investigar como a cobertura do solo nas Zonas Especiais de Uso Sustentável pode ser regulamentada, de forma a evitar a formação de ilhas de calor. Como objetivos específicos, tem-se: i) caracterizar a cobertura do solo das ZEUS; ii) identificar proporções ambientalmente equilibradas de cobertura do solo em Teresina; e iii) propor medidas de mitigação para projetos urbanísticos a serem implantados nas ZEUS.

## 2 Procedimentos metodológicos

A área de estudo desta pesquisa compreende as porções territoriais do perímetro urbano de Teresina classificadas como Zonas Especiais de Uso Sustentável – ZEUS. Segundo o zoneamento aprovado pela Lei Complementar N° 5.481/2019, estas correspondem a 14,34% dos 263,93 km<sup>2</sup> da área urbana do município, o equivalente a aproximados 38 km<sup>2</sup>, distribuídos geograficamente por 78 dos 123 bairros da capital (Figura 1).

**Figura 1** - Localização das ZEUS no perímetro urbano de Teresina



Fonte: TERESINA, 2019. Adaptado pelos autores, 2020.

Utilizou-se dados da plataforma *on-line MapBiomas* para caracterização da cobertura do solo do Brasil. Em seguida, recorreu-se ao sensoriamento remoto para obtenção de dados sobre a cobertura do solo de Teresina. As imagens de reflectância de superfície foram selecionadas em dois períodos distintos: no primeiro semestre do ano, quando o clima é quente e úmido, e no segundo semestre, quando o clima é quente e seco. A data teve como critério de seleção a ausência de cobertura de nuvens. As variáveis consideradas foram: a temperatura superficial, os percentuais de superfícies d'água, de cobertura das construções, de solo exposto, de vegetação densa, de vegetação esparsa e de solo impermeabilizado. A metodologia adotada para aferição das temperaturas superficiais foi a apresentada por Coelho e Correa (2013), que utilizam dados do *Thermal Infrared Sensor TIRS/Landsat-8*, banda 10 em ambiente SIG, processados no software QGIS 3.12.0. Já para a classificação e quantificação do uso e ocupação do solo, empregou-se o procedimento utilizado por Soares (2018), cuja elaboração do mapeamento se deu a partir de imagens do satélite CBERS 4, bandas 1, 2, 3 e 4.

Como conclui Gonçalves (2005), o mapeamento de uso e ocupação do solo por imagens do CBERS apresenta baixa precisão. No entanto, indica a frequência de ocorrência destes, fato que possibilita uma leitura, embora que ampla, da composição territorial do objeto estudado. Com o intuito de se obter valores mais representativos da realidade, procedeu-se com o redesenho em software do tipo *computer aided design (CAD)*, das porções territoriais adotadas como amostras da pesquisa. Utilizou-se imagens do levantamento aerofotogramétrico da área urbana de Teresina, de 2013<sup>9</sup>, disponibilizado pela Prefeitura de Teresina, com resolução espacial de 0,10 m.

A seleção das amostras foi condicionada pela frequência de ocorrência, no espaço urbano, da variável temperatura superficial. O primeiro grupo estudado foi composto por oito amostras, classificado em três subgrupos segundo o intervalo de temperatura superficial identificado. Para cada amostra foi realizada a classificação da cobertura do solo, a partir de imagens do CBERS 4, e calculados os percentuais das variáveis envolvidas. A área adotada para o recorte espacial das amostras foi de 100 ha, que equivale à escala climática definida por Oke (1987) como microescala.

O segundo grupo estudado, composto por três amostras, foi definido a partir dos resultados obtidos da análise do primeiro grupo. Detalhou-se a cobertura do solo das três porções territoriais da cidade que, considerando o objetivo geral da pesquisa, mostraram-se

---

<sup>9</sup> A partir da sobreposição de imagens do Google Earth, datadas de 2019, procedeu-se à realização de atualizações da composição territorial das amostras.

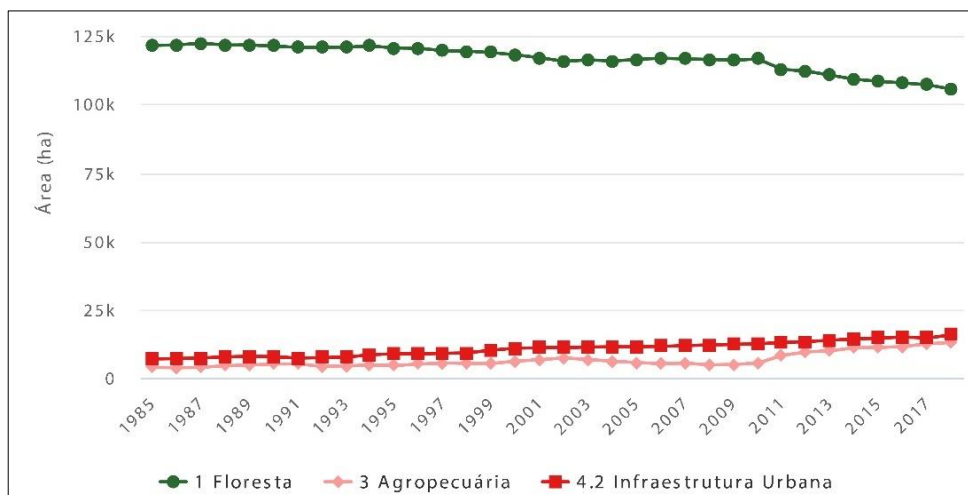
promissoras à referência de parâmetros de cobertura do solo mais ambientalmente equilibrada. Por fim, após identificar qual amostra apresentou melhor relação entre temperatura superficial e padrões de cobertura do solo, recorreu-se à literatura e às normas técnicas para definição de diretrizes que possam a vir disciplinar a ampliação ou o início de novos processos de urbanização nas Zonas Especiais de Uso Sustentável de Teresina.

### 3 Resultados e discussão

Segundo dados da plataforma *on-line MapBiomas*, referentes à cobertura e ao uso do solo do território brasileiro, em pouco mais de três décadas (1985-2017) houve uma redução de 12,88% das áreas de floresta do país, ao passo que a agropecuária e a instalação de infraestrutura urbana aumentaram, respectivamente, 46,91% e 137,30%. O Piauí manteve-se bem abaixo da média nacional de redução de áreas florestais, registrando 7,29%. Quanto aos demais indicadores, agropecuária e infraestrutura urbana, aumentaram 97,07% e 174,39%, respectivamente.

O município de Teresina teve sua área de cobertura florestal reduzida abaixo das médias estadual e nacional, cerca de 13,15%, e aumentos expressivos nas áreas destinadas à agropecuária e à instalação de infraestrutura urbana, respectivamente, 234,60% e 126,07%. Em números absolutos, no entanto, a capital teresinense se distanciou do comportamento observado nas escalas regional e nacional: nestas, as áreas destinadas a atividades agropecuárias foram maiores do que as áreas de infraestrutura urbana. Ou seja, observa-se em Teresina a predominância do processo de urbanização sobre as atividades agropecuárias (Gráfico 1).

**Gráfico 1** - Série histórica de algumas variáveis de cobertura e uso do solo do município de Teresina



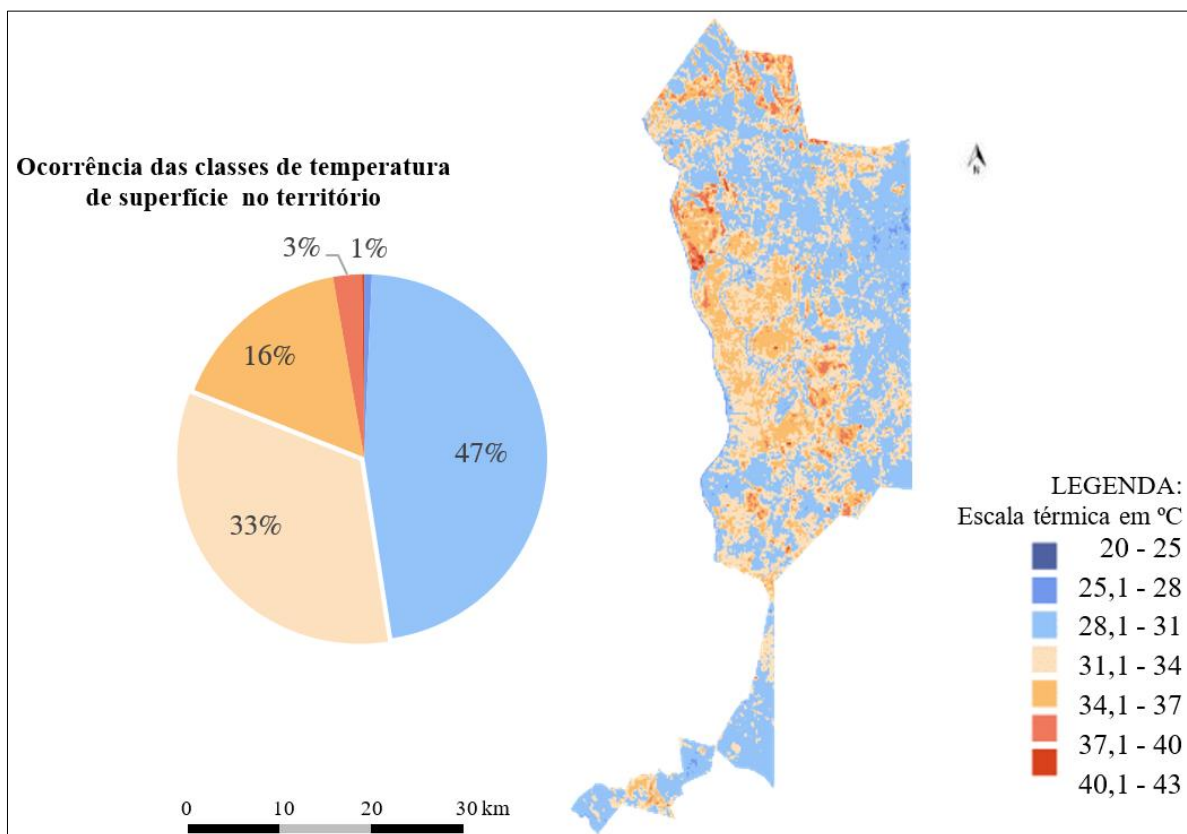
Fonte: OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020.



Esse processo de urbanização resultou no desmatamento de áreas florestais da cidade. Em concordância com as tendências apresentadas no Gráfico 01, Santiago (2017) identificou que, entre 2004 e 2016, o NDVI médio anual caiu cerca de 64%, ficando abaixo do que a literatura reconhece como boa condição de vegetação (0,60). Feitosa *et al.*, (2012), ao estudarem a mesma questão em um período temporal maior, entre 1977 e 2009, também concluíram que o processo de urbanização de Teresina não só reduziu o índice de áreas verdes como implicou no aumento das temperaturas mínima e média do ar. Feitosa *et al.*, (2011), em um outro estudo, observaram que entre 1989 e 2009, houve aumento na média da temperatura da superfície (TS) do solo. Em 1989, a TS máxima não ultrapassava os 37,5° C, já 20 anos depois, em 2009, foram verificadas áreas com TS de 39° C, para o mesmo período anual – segundo semestre.

Em 2019, isto é, 10 anos depois do ensaio apresentado por Feitosa *et al.*, (2011), foi possível identificar, em Teresina, áreas com até 43° C de temperatura superficial nos dias considerados na investigação (Figura 2).

**Figura 2** - Imagem do campo termal do município de Teresina transformada em temperatura aparente da superfície do solo registrada em 07/12/2019 às 12:59

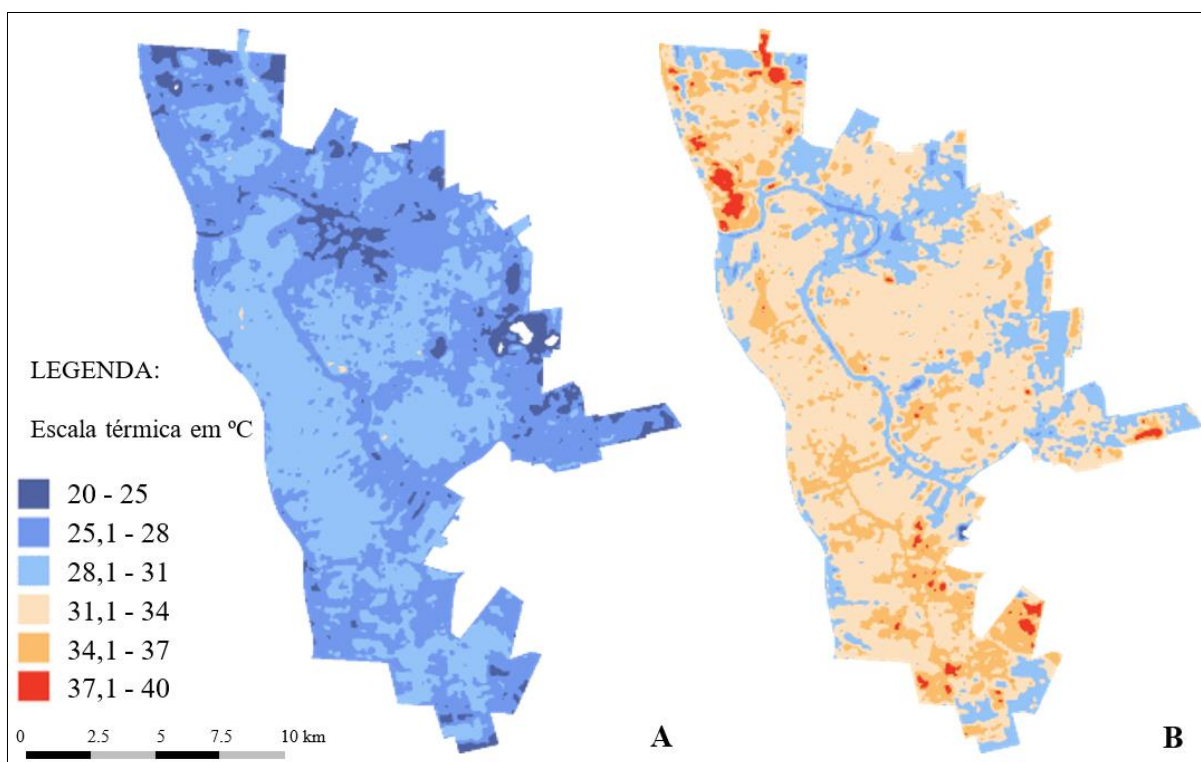


Fonte: INPE, 2019c. Adaptado pelos autores, 2020.

A partir da Figura 2, cujo recorte espacial compreende toda a porção territorial do município, constata-se a predominância de áreas com temperatura superficial superior aos 31° C. Quase não foram registradas superfícies com temperatura entre 20° C e 25° C, apenas 0,001% da área. A faixa de 25,1° C a 28° C só foi verificada em 0,674% do território. A maior frequência identificada foi a de 28,1° C a 31° C, que se projetou em 46,874%. Os intervalos de 31,1° C a 34°; 34,1° C a 37° C e 37,1° C a 40° C registraram, respectivamente, 33,448%, 16,26% e 2,55%. Verifica-se, ainda, que 0,193% do município apresentou temperatura superficial acima dos 40° C. Na zona rural, as porções que apresentaram maior temperatura superficial correspondem a áreas de agricultura.

No perímetro urbano, para o mesmo período anual da Figura 2, a situação do campo termal de Teresina mostrou-se, em média, mais desagradável, conforme Figura 3b. É nesse período que a cidade apresenta os mais baixos índices pluviométricos, o que faz surgir áreas de solo exposto, onde observam-se as maiores temperaturas superficiais (Figura 3).

**Figura 3** - Imagem do campo termal da zona urbana de Teresina transformada em temperatura da superfície do solo



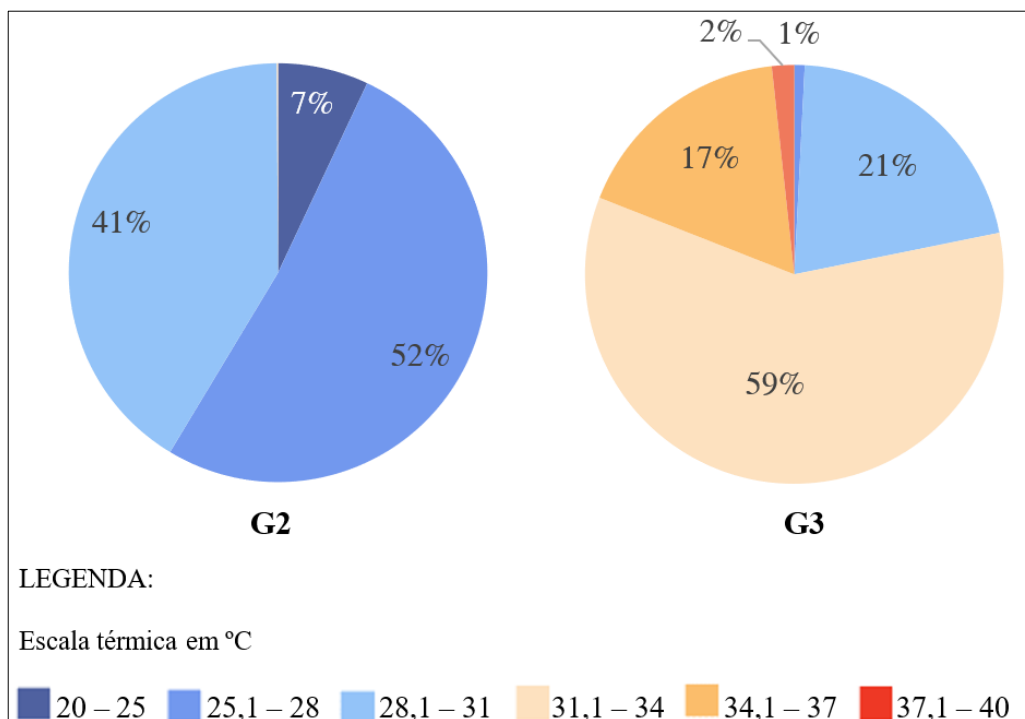
A. Campo termal em 05/01/2019 às 12:58. B. Campo termal em 18/09/2019 às 12:59.

Fonte: INPE, 2019b. Adaptado pelos autores, 2020.

O registro do dia 05/01/2019, Figura 3a, mostra que a faixa de TS máxima foi de 31,1° C a 34° C, verificada em 0,09% do território urbano. Esse percentual corresponde a áreas vastamente pavimentadas com asfalto, como a pista de pouso e decolagem do aeroporto, o estacionamento de um shopping center, o entorno de um hipermercado, uma quadra onde há apenas lojas de revenda de automóveis e o solo exposto de um loteamento em construção. A faixa mais recorrente foi de 25,1° C a 28° C, observada em 51,63% da cidade, correspondente a espaços com vegetação. Vias de circulação e massa construída apresentaram TS entre 28,1° C e 31° C, somando 41,27% do território (Gráfico 2).

Já no registro do dia 18/09/2019 constata-se que houve uma ampliação das áreas da faixa 31,1° C a 34° C, que passou a predominar em 59,14% do território. Já a faixa de 25,1° C a 28° C reduziu para apenas 0,77%. A faixa de 28,1° C a 31° C, verificada em 21,02% da cidade, também sofreu retração e limitou-se às margens dos rios, de lagoas e de vegetação densa. Porções territoriais como a do aeroporto, ou com vegetação baixa seca ou, ainda, ao longo de vias expressas, apresentaram TS entre 34,1° C e 37° C, somando 17,32%. Temperaturas de até 40° C foram registradas apenas em 1,72% da cidade, em áreas de solo exposto (Gráfico 3).

**Gráficos 2 e 3** - Faixas do campo termal em Teresina em janeiro e setembro de 2019



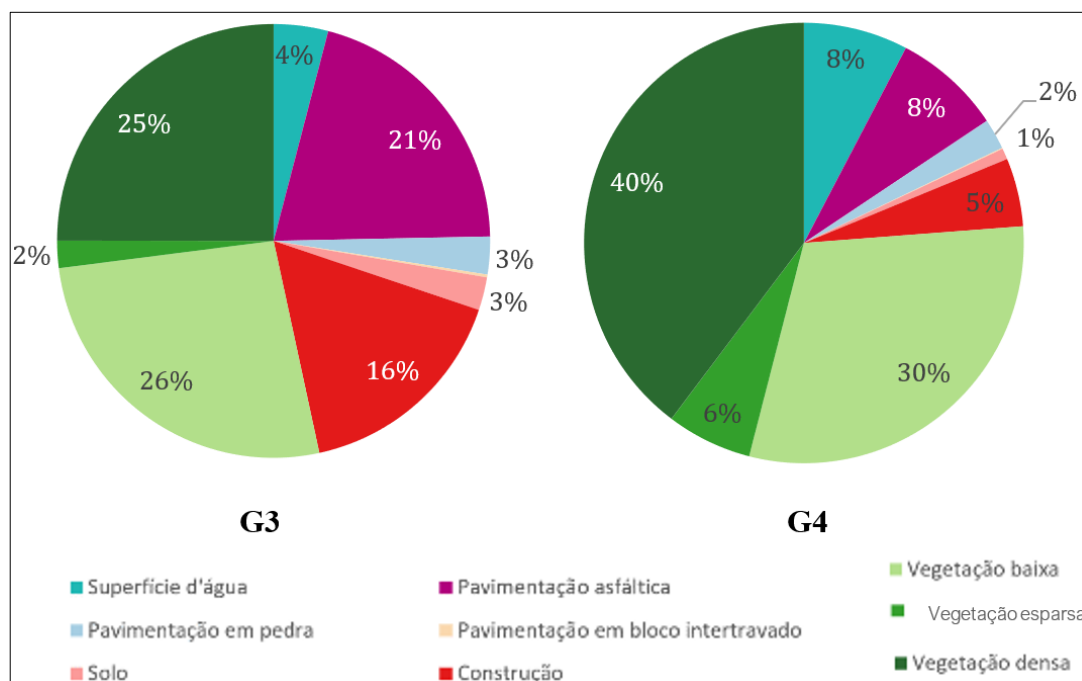
G2. janeiro de 2019. G3. setembro de 2019. Fonte: Elaborado pelos autores.

Em ambos os registros, as áreas com temperatura superficial mais elevada corroboram com àquelas identificadas por Simões e Almeida Júnior (2018), tanto no ano de 2007 quanto

em 2017, recorte temporal estudado pelos autores. Ao comparar os dados apresentados por Sousa *et al.*, (2017), referentes a agosto de 1995, com os obtidos nesta pesquisa, em 2019, verifica-se aumento das médias de temperatura superficial predominantes, que passaram da faixa 27,1° C – 30° C, em 1995, para 31,1° C – 34° C, em 2019.

A composição da cobertura do solo da área urbana de Teresina, registrada no início de 2019, mostra que a vegetação total ainda representa o maior percentual de cobertura do solo, cerca de 53%, seguida das áreas com cobertura asfáltica e ocupadas por edificações, 21% e 16%, respectivamente. Analisadas em conjunto, ZEUS e APPs possuem 19,23% da vegetação da capital. Acerca da cobertura do solo, ainda predomina a cobertura vegetal, equivalente a 76% da área de todas as ZEUS. Em apenas 5% das ZEUS foram observadas construções (Gráficos 4 e 5).

**Gráficos 4 e 5 - Composição do uso e cobertura do solo de Teresina e das ZEUS**



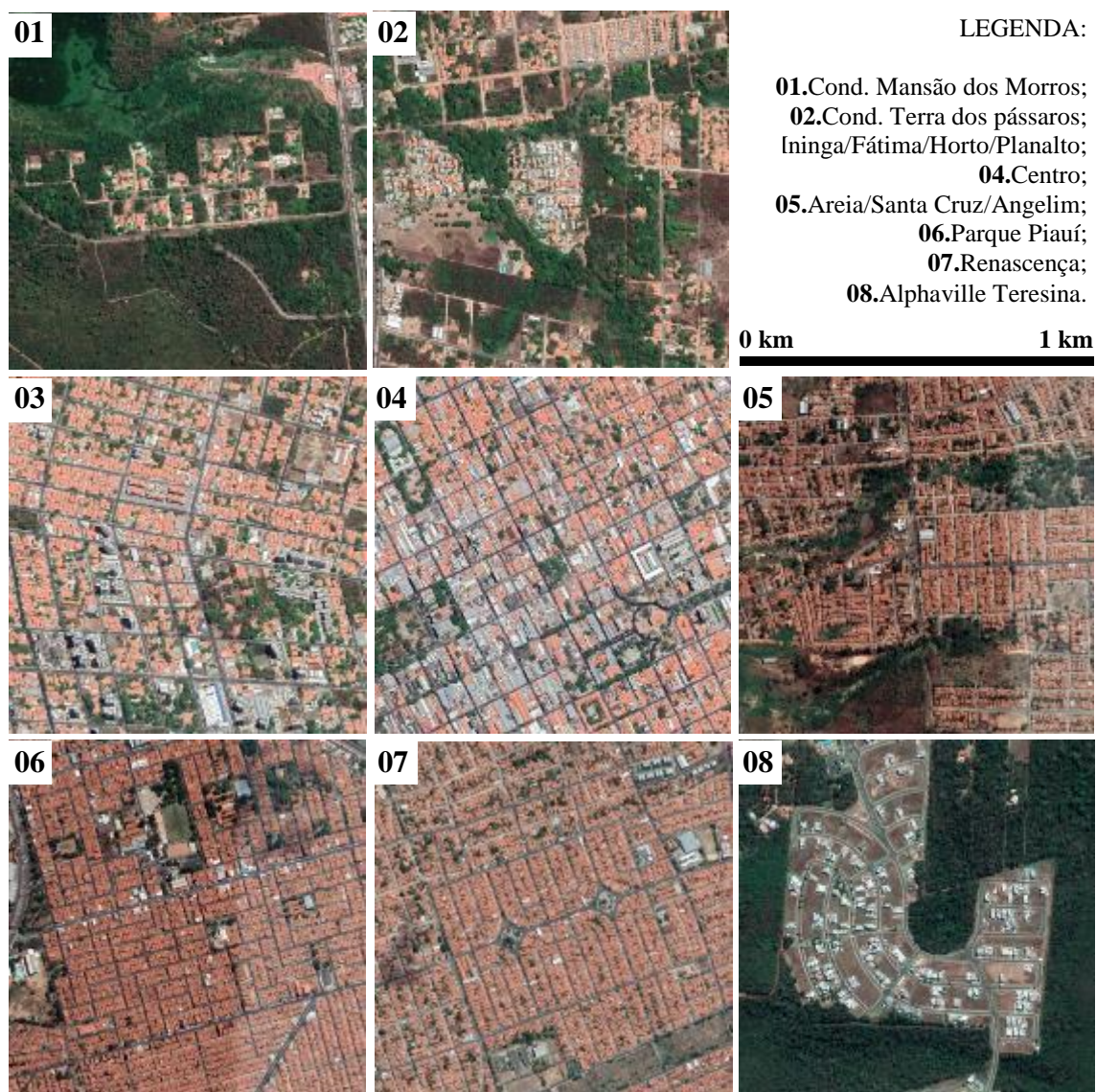
G3. Composição de Teresina. G4. Composição das ZEUS.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Duarte (2000), ao estudar padrões de ocupação e microclima urbano em regiões de clima continental, identificou correlação positiva entre temperatura do ar e taxa de ocupação. A autora propôs um coeficiente que busca estabelecer o equilíbrio entre densidade construída, arborização e água, afirmando que: “a partir da taxa de ocupação e do coeficiente de aproveitamento máximo permitido, pode-se estabelecer uma proporção para áreas verdes e superfícies d’água ideais para amenização das condições climáticas locais” (DUARTE, 2000, p. 226).

No presente estudo, buscou-se analisar as relações entre as variáveis *taxa de ocupação*, *temperatura superficial*, *vegetação* e *superfícies d'água*. Como já apresentado, nos registros remotos utilizados as faixas de temperatura superficial mais frequentes, no período mais quente, foram 28,1° C – 31° C (amostras 01 e 02), 31,1° C – 34° C (amostras 03, 04 e 05) e 34,1° – 37° C (amostras 06, 07 e 08). Para a escala climática adotada – a microescala, somente foi possível selecionar duas amostras representativas da faixa 28,1° C – 31° C. As demais porções territoriais desta faixa não possuíam áreas urbanizadas suficientes aos objetivos da pesquisa. Para as outras faixas, foi possível utilizar três amostras (Figura 4).

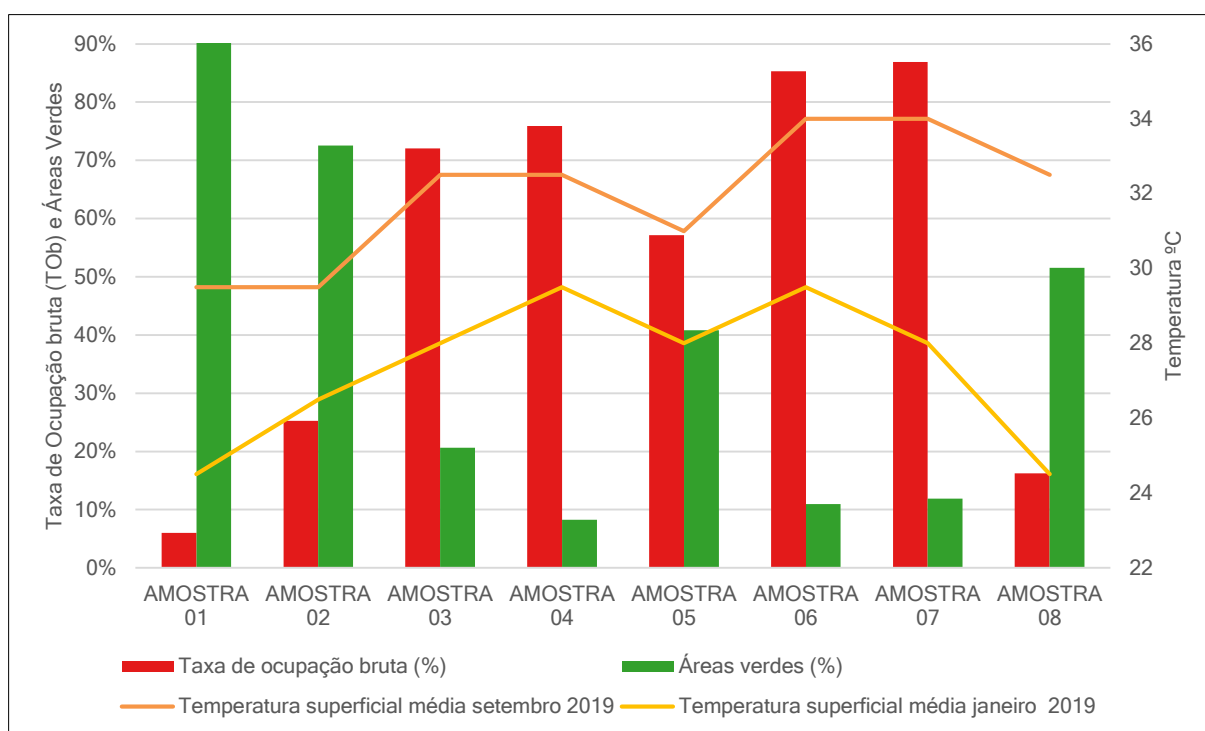
**Figura 4** - imagens de satélite das amostras selecionadas



Fonte: Google Maps, 2020.

A quantificação da cobertura do solo das áreas amostrais, em associação aos mapas temais, evidenciou que para localidades com taxa de ocupação bruta (considerando a área ocupada por ruas, construções e solos impermeabilizados) superior a 70%, foram registradas as maiores temperaturas superficiais no mês de setembro (Gráfico 6).

**Gráfico 6 -** Relação taxa de ocupação, vegetação e temperatura superficial



Fonte: Elaborado pelos autores.

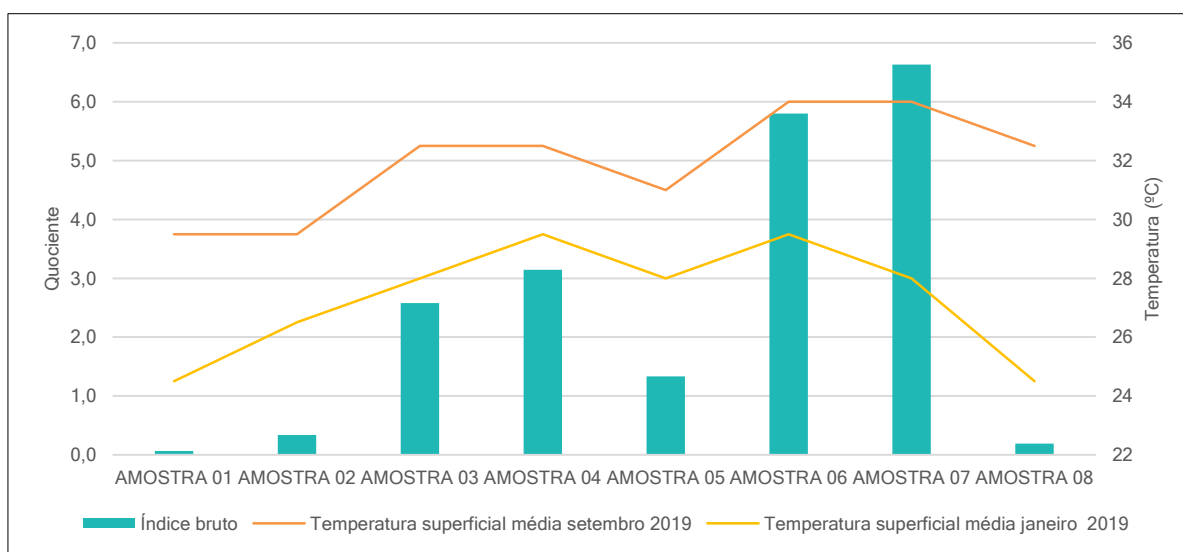
Ao analisar a relação da temperatura superficial com todas as variáveis, observa-se que tão importante quanto a presença de vegetação e uma taxa de ocupação equilibrada para o controle da temperatura superficial, é a ausência de grandes áreas de solo exposto. O Condomínio Alphaville Teresina, por exemplo, embora tenha 48% de área com cobertura vegetal densa, não se projetou entre as amostras com leitura de menor TS, fato atribuído à existência de 32 ha de solo exposto. Porções com altos percentuais de cobertura asfáltica, como as do Centro, Parque Piauí e Renascença, também registraram as maiores temperaturas superficiais.

Ao avaliar a relação entre as áreas de superfícies construídas e solo exposto/vegetação<sup>10</sup>, observou-se que as amostras 01, 02, 05 e 08 apresentaram quocientes mais próximos de 0, isto é, somadas, as áreas de solo exposto, de superfície d'água e cobertura vegetal preponderaram, em

<sup>10</sup> Procedimento semelhante ao adotado por Duarte (2000), no entanto, sem considerar o índice de aproveitamento, visto que o objetivo desta pesquisa se limita a investigações somente da cobertura do solo.

demasia, à somatória das áreas de construções e com solo impermeabilizado. A amostra 05 foi a que apresentou quociente mais próximo de 1, ou seja, há uma tendência de equidade entre superfícies construídas e solo exposto/vegetação. A amostra 08, embora tenha apresentado índice 0,2, foi a única que não seguiu a tendência de temperatura superficial mais baixa em relação às demais, o que confirma, novamente, a necessidade de controle das áreas de solo exposto (Gráfico 7).

**Gráfico 7** - Relação superfície antropizada/solo exposto/vegetação e temperatura superficial






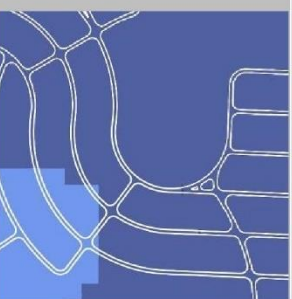








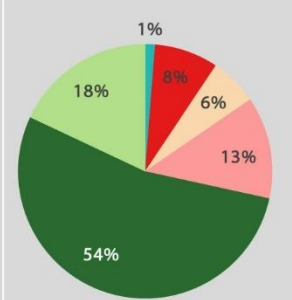
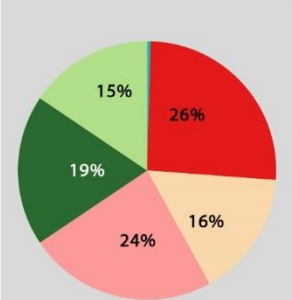
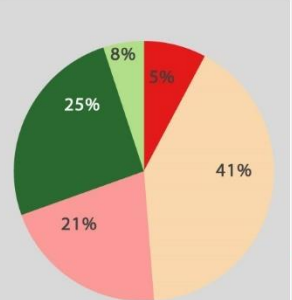
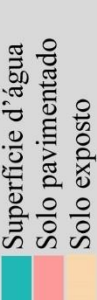


Fonte: Elaborado pelos autores.

A amostra 01 apresentou quociente de 0,05, decorrente da baixa taxa de ocupação absoluta, de apenas 6%, e da alta taxa de cobertura vegetal, de 91,72%. Por esta razão, embora tenham sido verificadas as menores temperaturas superficiais, entende-se que este padrão de ocupação não caracteriza a condição urbana da cidade, portanto impraticável de ser replicado em grandes proporções. A amostra 02 foi a que conseguiu estabelecer o melhor equilíbrio entre as variáveis consideradas, resultando em quociente de 0,3. (Gráfico 7).

A partir dessas análises, investigou-se, com maior precisão, a cobertura do solo das amostras 02, 05 e 08, delimitadas por um recorte menor, de 25 ha, o mesmo adotado por Duarte (2000) e ainda inserido, segundo Oke (1987), na escala microclimática (Quadro 01). A justificativa para a seleção destas amostras é que tanto a 02 quanto a 05 apresentaram padrões ambientalmente equilibrados de cobertura do solo, já a amostra 08, embora compartilhe aferições semelhantes em quase todas as variáveis analisadas, em função da divergência de apenas uma, não se projetou como um padrão de ocupação coerente com o clima da cidade.

**Quadro 1 - Caracterização pormenorizada das amostras**

AMOSTRA	2A – TERRA DOS PÁSSAROS	5A – AREIA/SANTA CRUZ	8A - ALPHAVILLE	
IMAGEM SATÉLITE				LEGENDA
TEMPERATURA SUPERFICIAL	JANEIRO 2019 			Escala térmica em °C 
	SETEMBRO 2019 			
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	MAPA 			Construção Vegetação alta Vegetação baixa 
	GRÁFICO 			Superfície d'água Solo pavimentado Solo exposto 

Org.: Elaborado pelos autores.



A amostra 02A, além de ser caracterizada pela predominância de vegetação densa, diferencia-se por ter 1% de superfície d'água, correspondente a dois riachos que a circundam e por não ter suas vias pavimentadas com asfalto. Na amostra 05A também houve registro de superfície d'água, proveniente de um riacho, todavia em percentual inexpressível. Já a amostra 08A, que possui a menor área de superfície construída, registrou o maior percentual de solo exposto, cerca de 41%.

Observa-se, por conseguinte, que a natureza material da cobertura do solo implica diretamente na variação de sua temperatura superficial. A amostra 8A, onde predomina o solo exposto, apresentou a maior amplitude térmica para o intervalo temporal adotado, diferentemente do comportamento verificado na amostra 2A, que apresentou a menor amplitude térmica de temperatura superficial em função das altas taxas de cobertura do solo por vegetação. Dessa forma, constata-se a imprescindibilidade da regulamentação da cobertura do solo de projetos urbanísticos a serem implantados nas ZEUS, em vista a se evitar o aumento da temperatura ou da amplitude térmica superficial dessas zonas.

### **3 Considerações finais**

Considerando que o artigo 106 do PDOT assegura a possibilidade de criação de uma norma de regulamentação dos padrões de uso e ocupação do solo das ZEUS e que os principais fatores que influenciaram no aumento da temperatura do solo das amostras estudadas nesta pesquisa foram decorrentes do processo de urbanização, impõe-se a necessidade de disciplinar, portanto, projetos urbanísticos a serem executados nessas zonas.

Um caminho que se mostra juridicamente seguro é a adoção, naquilo que couber, da recente norma ABNT NBR 16636-3/2020, que trata da elaboração e desenvolvimento de projetos urbanísticos e que define os sistemas e elementos a serem contemplados em tais projetos. Dentre os sistemas definidos pela referida norma técnica, para esta pesquisa, cabe destacar o Sistema de Conforto Ambiental Urbano (SCAU), composto, dentre outros, pelos elementos de infraestrutura verde e daqueles vinculados ao desempenho acústico, térmico e visual. Mediante o apresentado, evidencia-se que o SCAU de projetos urbanísticos para as ZEUS, no tocante aos elementos de desempenho térmicos, podem evitar o surgimento de novas ilhas de calor.

Os ensaios do presente estudo mostraram que os menores valores de temperatura superficial registrados ocorreram quando a taxa de cobertura vegetal ficou acima dos 40%, bem

além do que as legislações de parcelamento do solo propõem, geralmente, 15% de áreas verdes. Para se encontrar o valor ideal para Teresina, um caminho metodológico a seguir seria ampliar o número de amostras e analisar a partir de qual ponto, o percentual de área vegetada passaria a ter contribuição inócua para a diminuição da variável temperatura superficial. No entanto, independentemente dos limites percentuais, a situação observada na amostra 8A corrobora com o apontado por Duarte (2000): as áreas cobertas por vegetação devem ser homogeneamente distribuídas. Além disso, a legislação, associada à gestão, deve desestimular a criação de solos expostos e a supressão vegetal massiva, situação também verificada na amostra 8A.

Quanto à pavimentação de vias e demais áreas de circulação, deve incidir regulamentação que proíba o uso de materiais com baixa refletância solar, como o asfalto preto, que se aquece facilmente e corresponde, respectivamente, a 21% e 8% da cobertura do solo da zona urbana de Teresina e das ZEUS. A regulamentação poderia exigir o uso de “pavimento fresco”, ou seja, com refletância solar a partir de 25%. A refletância poderia ser maior ou menor a depender da porosidade do pavimento, já que o acúmulo de água e sua subsequente evaporação atua no processo de resfriamento. Como a maioria dos pavimentos possuem emissividade térmica acima de 80%, esta característica não necessitaria ser regulada.

Já as coberturas das construções, mapeadas neste estudo como “construções”, que representam 16% e 5% da cobertura do solo da zona urbana de Teresina e das ZEUS, respectivamente, necessitariam de regulação quanto à refletância solar e à emissividade térmica. Poderiam ser exigidas “coberturas frescas”, aquelas que apresentam refletância solar maior que 70% e emissividade térmica acima de 80%.

Os resultados aqui obtidos são provocações iniciais sobre como o Poder Executivo Municipal pode atuar na construção de uma cidade resiliente, especificamente, no campo do conforto ambiental urbano. Em Teresina, assegurar a urbanização sustentável das ZEUS deve ser uma das principais metas do Poder Público, em cumprimento aos objetivos da Agenda 2030 e do próprio PDOT, visto que estas são importantes instrumentos de combate aos efeitos negativos das mudanças climáticas na escala local.

## Referências

ALBUQUERQUE, M. M.; LOPES, W. G. R. Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. **Revista RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 36, p. 38-68, abr. 2016.

ARAÚJO, K. C.; ANDRADE, C. S. P. Ilhas de calor em Teresina-PI: episódios de verão. **Revista Entre-Lugar**, Dourados, v. 8, n. 16, p. 32-54, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16636-3**: elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos parte 3: projeto urbanístico. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de superfície celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, ano 12, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.

DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. 278 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FEITOSA, S. M. R. *et al.* Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – PI. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 6, n. 2, p. 58-75, 2011.

FEITOSA, S. M. R. *et al.* Relação do clima de Teresina com a supressão de áreas verdes. In: ROCHA, J. R. S.; BARROS, R. F.M.; ARAÚJO, J. L. L. (orgs.). **Sociobiodiversidade no meio norte brasileiro**. Teresina: EDUFPI, 2012. p. 225-242.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248 p.

GONÇALVES, C. D. A. B. Uso de imagens CBERS para mapeamento de uso do solo urbano como subsídio ao planejamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 969-977.

GOOGLE MAPS. **Teresina, Piauí**. 2020. 1 imagem de satélite, color. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Teresina+-+PI/@-5.1863822,-43.0643746,109800m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x78e34b4df8526b1:0x2c29cfbdbb7d7359!8m2!3d-5.0920108!4d-42.8037597?hl=pt-BR>>. Acesso em 11 jul. 2020.

INMET (Brasil). **Normais climatológicas do Brasil, 1981-2010**. [Brasília, DF]: Instituto Nacional de Meteorologia, 2010. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 10 jul. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Teresina, Piauí**. São José dos Campos: INPE, 2019. 1 imagem de satélite, color. Satélite CBERS-4, instrumento IRS. Intervalo de tempo: 03 jan. 2019 a 18 set. 2019. Lat. -5.089, Long. -42.802. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em 11 jul. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Teresina, Piauí**. São José dos Campos: INPE, 2019. 1 imagem de satélite, color. Satélite LANDSAT-8, instrumento OLI. Intervalo de tempo: 05 jan. 2019 a 18 set. 2019. Lat. -5.089, Long. -42.802. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em 11 jul. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Teresina, Piauí**. São José dos Campos: INPE, 2019. 1 imagem de satélite, color. Satélite LANDSAT-8, instrumento OLI. Intervalo de tempo: 07 dez. 2019. Lat. -5.089, Long. -42.802. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em 11 jul. 2020.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic press, 1981. 275 p.

LEITE, A. C. S. **Análise térmica temporal e influência urbana utilizando índices espectrais e parâmetros biofísicos por sensoriamento remoto**. 2018. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLICEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Ofina de Textos, 2007.

NUNES, F. R. A.; ESPINDOLA, G. M.; LOPES, F. C. Evolução das ilhas de calor urbana em Teresina, Piauí (1985-2015). **Revista Educação Ambiental em Ação**, Novo Hamburgo, ano 18, v. 68, jun./ago. 2019.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Projeto MapBiomias** – Coleção [v. 4.1] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em 11 jul. 2020.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2nd. ed. London:Routledge, 1987. 435p.

ROMERO, M. A. B. *et al.* **Relação entre mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. Brasília: ETB, 2019. *E-book* (151 p.).

SANTIAGO, D. B. **Ilha de calor e a influência no conforto térmico da região integrada de desenvolvimento da Grande Teresina (RIDE)**. 2017. 54 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Recife, 2017.

SIMÕES, P. P. D.; ALMEIDA JUNIOR, W. F. Uso de geoprocessamento para detecção de ilhas de calor na zona urbana de Teresina – Piauí: comparativo dos anos 2007 e 2017. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO, 1., 2018, Teresina. **Anais eletrônicos...** Teresina: IFPI, 2019.

SOARES, A; S. **Mapeamento do uso e ocupação do solo do município de Grupiara/MG usando técnicas de segmentação de imagens**. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2018.

SOUSA, M. F. L. O. *et al.* Geotecnologia aplicada a análise da temperatura de superfície do município de Teresina-PI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27., 2017, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: SBC, 2017. p. 986-990.

TERESINA. **Lei Complementar nº 5.481, de 20 de dezembro de 2019.** Dispõe sobre o Plano Diretor de Teresina, denominado “Plano Diretor de Ordenamento Territorial - PDOT”, e dá outras providências. Teresina: Câmara Municipal, [2020]. Disponível em: <http://200.23.153.37/acervodigital/norma/lei-complementar-5481-2019>. Acesso em: 10 jul. 2020.

WMO. **IPCC Special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.** Genevra: UNEP, 2019. 41 p. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM\\_Approved\\_Microsite\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf). Acesso em: 10 jul. 2020.