



Temporal analysis of Heat Island in Arapiraca-Alagoas, Brazil based on geoprocessing

Análise temporal de Ilha de calor em Arapiraca-Alagoas, Brasil com base em geoprocessamento

SANTANA, Julliana Rocha ⁽¹⁾; GOMES, Hérmesson de Farias ⁽²⁾;
OLIVEIRA, Matheus Freitas de ⁽³⁾

(1): <https://orcid.org/0000-0002-9136-2941>; Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, campus Florianópolis /Discente do curso de graduação em Engenharia de Alimentos, BRAZIL, E-mail: jullianasantanaa2010@gmail.com;

(2) <https://orcid.org/0000-0002-4107-3105>; Instituto Federal de Alagoas – IFAL, campus Batalha /Discente do curso técnico em Agroindústria, BRAZIL, E-mail: messofarias00@gmail.com;

(3) <https://orcid.org/0000-0002-4103-187X>; Instituto Federal da Bahia – IFBA, campus Valença/Professor EBTT, mestre em Geografia, BRAZIL, E-mail: matteusfreitas@gmail.com.

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the formation of islands of heat and freshness in the center of the city of Arapiraca - Alagoas, using data from Landsat 8 OLI/TIRS images, scene 215/067, associated with the dynamics of land use and land cover with time frame in the years 2013, 2017 and 2018. The methodology consisted of literature review, survey of pre-existing data, image processing and analysis of land use and land cover and surface temperature data - TS. In the processing step, for the delimitation of land use and land cover classes, the supervised classifier Support Vector Machine Classification – SVM was used, while in the TS analysis band 10 was considered, consisting of thermal data from Landsat 8. The main areas of inter and intra-urban thermal discomfort linked to the exposed soil classes and built-up areas, as well as the cool areas associated with the presence of water bodies and streams, especially Piauí and Jurubeba, generating the thermal letters of 2013, 2017 and 2018. Signs of high TS are due to the removal of vegetation for the expansion of agricultural and urban activities, with emphasis on the building and the absence or rarefaction of green areas to generate thermal comfort. Despite the rapid urban growth seen in Arapiraca, the phenomenon of heat islands has not been established. Around the city, the amount of exposed soil intensifies the TS in energy dynamics similar to built-up areas.

RESUMO

Esse trabalho teve por objetivo analisar a formação das ilhas de calor e frescor no centro da cidade de Arapiraca - Alagoas, por meio dos dados de imagens Landsat 8 OLI/TIRS, cena 215/067, associado a dinâmica de uso e cobertura do solo com recorte temporal nos anos de 2013, 2017 e 2018. A metodologia consistiu na revisão bibliográfica, levantamento de dados pré-existentes, processamento de imagens e análise dos dados de uso e cobertura do solo e da temperatura superficial - TS. Na etapa de processamento, para delimitação de classes de uso e cobertura do solo, foi utilizado o classificador supervisionado Support Vector Machine Classification – SVM, enquanto na análise de TS foi considerada a banda 10, composta por dados termais do Landsat 8. Foi identificado as principais áreas de desconforto térmico inter e intra urbana ligadas às classes de solos expostos e áreas edificadas, bem como, as áreas de frescor associadas a presença de corpos d'água e riachos, sobretudo o Piauí e a Jurubeba, gerando as cartas termais de 2013, 2017 e 2018. Os sinais de elevadas TS são decorrentes da retirada da vegetação para expansão de atividades agropecuárias e urbanas, com destaque a edificação e ausência ou rarefação de áreas verdes para geração de conforto térmico. Apesar do rápido crescimento urbano verificado em Arapiraca, o fenômeno de ilhas de calor não está estabelecido. No entorno da cidade a quantidade de solos expostos intensificam a TS em dinâmica energética similar às áreas edificadas.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:

Submetido: 11/10/2022

Aprovado: 04/10/2022

Publicação: 10/10/2022



Palavras-chaves representativas do trabalho, estas não devem estar contidas no título do artigo.

Keywords:

Land use and land cover,

Surface temperature,

Urban climate.

Palavras-Chave:

Uso e cobertura do solo,

Temperatura superficial,

Clima urbano.

Introdução

O estado de Alagoas é constituído por 102 municípios e uma população de aproximadamente 3,3 milhões de habitantes segundo o IBGE (2019). Nesse cenário espacial se destacam cidades com relativa concentração populacional e dinâmica urbana, como por exemplo a expansão de áreas edificadas das cidades e redução de áreas verdes na franja urbana, como podem ser observadas na cidade de Maceió com o estudo de Almeida et al. (2015) e Arapiraca analisado por Santos et al. (2014) e Silva et al. (2018).

Segundo Koyanagi (2019), a sociedade ao longo da sua trajetória de adaptação e evolução, permaneceu diretamente ligada ao espaço usando e transformando-o para suprir suas necessidades. As cidades ressurgem justamente no contexto do consumo, seja ela de bens industrializados ou o consumo do próprio espaço, para a reprodução do capital e a reorganização espacial (CARLOS, 2007). Desde a primeira revolução industrial o espaço geográfico vem apresentando rápidas metamorfoses, dentre elas a capacidade de forjar novas e artificiais paisagens ligadas às novas formas de ser e estar no mundo. Em estudos mediados pela crítica social Machado et al. (2015) notou que na década de 1960 do século XX a deterioração que as cidades sofreram estava relacionado ao rápido e descontrolado crescimento, decorrente do modelo de desenvolvimento capitalista, pouco preocupado em realizar a distribuição equitativa de bens, serviços, infraestruturas e recursos ambientais, tendo como consequência a criação e ampliação das desigualdades nos espaços urbanos e rurais, bem como nas condições de vida da população, que sofre com os efeitos alarmantes da degradação desses espaços.

Esse modelo de urbanização, pautado no modo de produção capitalista (CARLOS, 2007), é resultante de uma forma de trabalho da sociedade, que atua na alteração das paisagens com a substituição da cobertura vegetal - responsável pela geração de umidade local - por edificações, ruas e avenidas, aumentando significativamente a impermeabilização dos solos e a irradiação de calor para a atmosfera, e conseqüentemente elevando a temperatura de áreas densamente construídas, além de colocar em risco a qualidade de vida dos moradores nas urbes (MONTEIRO, 1976).

Acerca dessas alterações nos territórios urbanos, Assis (2010) e Jesus (2016) acreditam que a ação da sociedade que se reflete sobre o espaço urbano, tem comprometido e modificado o balanço de radiação termal, subsidiando a formação de um fenômeno conhecido como Ilhas de Calor Urbana - ICU, isto é, áreas dentro da malha urbana que apresentam temperaturas mais elevadas quando comparadas com a vizinhança, sobretudo áreas rurais ou periferias urbanas afastadas do enclave edificado da área central (MONTEIRO, 1976; OKE, 1981; OKE, 1982; AMORIM, 2019; KOYANAGI, 2019).

Na rede urbana alagoana a cidade de Arapiraca se destaca pela posição estratégica de entroncamento regional, bem como pela concentração populacional, de serviços, funções comerciais, industriais entre outras potencialidades, se configurando enquanto uma cidade de

porte médio (SOUZA, 2009). Devido ao seu rápido crescimento e atual complexidade urbana e regional, a cidade de Arapiraca se configura em um estudo de caso importante para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à temperatura superficial por meio de Sensoriamento Remoto-SR e Sistemas de Informação Geográficas - SIG.

Neste sentido, o objetivo dessa pesquisa foi comparar o uso e cobertura do solo com o comportamento de Temperatura Superficial – TS no centro da cidade de Arapiraca Alagoas/Brasil entre os anos 2013, 2017 e 2018 por meio do geoprocessamento das imagens do sensor Landsat 8 OLI/TIRS (Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor) em busca de estimar e identificar a ocorrência do fenômeno de ICU, contribuindo para o planejamento e gestão espacial tendo em vista a sustentabilidade urbana.

Os resultados aqui discutidos fazem parte da pesquisa intitulada “Sensoriamento Remoto aplicado à detecção do efeito de ilhas de calor no centro da cidade de Arapiraca - Alagoas”, fomentado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação IFAL/CNPQ/FAPEAL no edital No 10 PRPPI/IFAL, de 21 de maio de 2019, na modalidade PIBITI e finalizado no contexto pandêmico de 2020. Além de contribuir para a ciência nacional, com estímulo a jovens pesquisadores, os resultados analisados possui uma proposta diferente, mas que se soma, aos estudos de Santos et al. (2014) e Silva et al. (2018), por apresentar um olhar geográfico crítico da produção espacial arapiraquense e as alterações na sensação térmica na urbe, se utilizando as imagens Landsat 8 OLI/TIRS e seus produtos como o uso e cobertura do solo e cartas da temperatura superficial nos anos de 2013, 2017 e 2018.

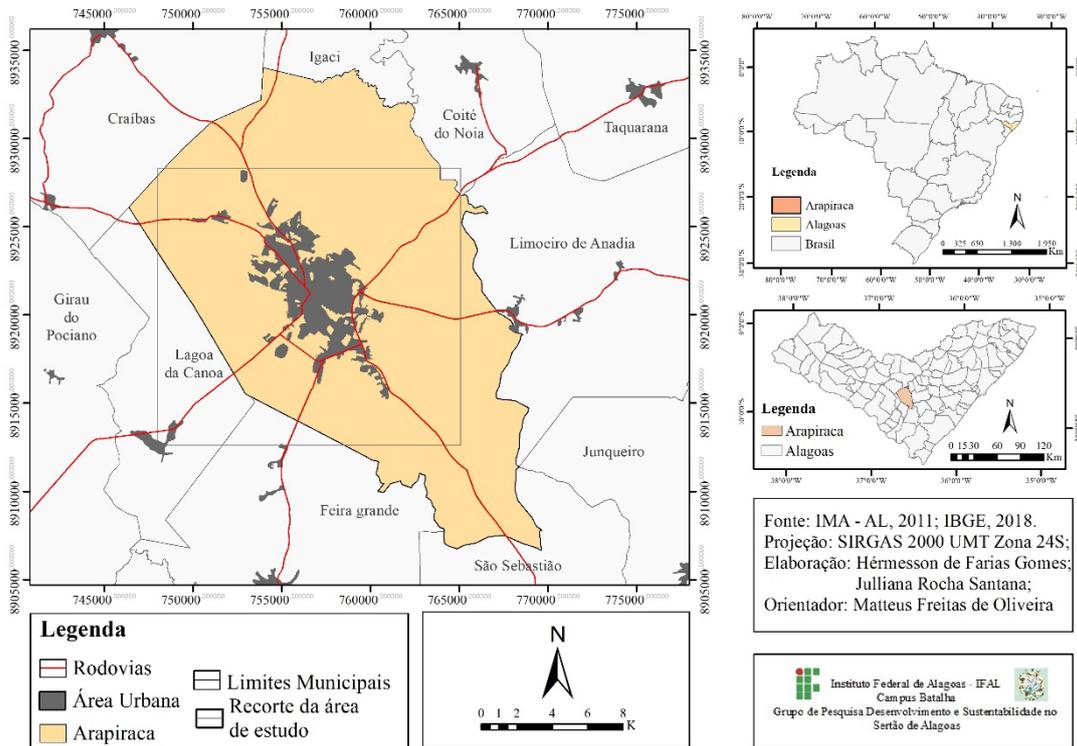
Caracterização da área de estudo

O município de Arapiraca, situado entre a latitude sul de 9° 45’ 09” e a longitude oeste de 36° 39’ 40’, está localizado na parte central do estado de Alagoas, região Nordeste do Brasil, possuindo uma área de 345,655 Km², de acordo com o IBGE (2019) e uma população estimada em 2019 de aproximadamente 231.747 habitantes, como pode ser observado na figura 1.

O município de Arapiraca localiza-se numa área de transição climática entre os climas tropical úmido a subúmido e tropical semiárido. Na classificação de Köppen, a área de estudo possui um tipo climático do tipo AS, tropical quente e úmido, com uma estação seca no verão e chuvas de outono/inverno com temperaturas de 17° a 28° Celsius (CRPM, 2005; SANTOS et al. 2014; XAVIER e DORNELLAS, 2005). O relevo e seu entorno estão inseridos na classificação de Pediplano Sertanejo, por possuir terras pouco onduladas, padrão em todo oeste alagoano (SANTOS et al., 2014). Por se encontrar posicionado na mesorregião alagoana conhecida como Agreste, a área de estudo, conforme a CPRM (2005), possui, enquanto vegetação predominantemente, a Floresta Subperenifólia, com partes de Floresta Subcaducifólia e Florestas de Cerrado.

Figura 1 .

Localização do município de Arapiraca – Alagoas e do recorte da área de estudo



Fonte: IMA–AL (2011); IBGE (2018)

A centralidade de Arapiraca, enquanto cidade média, pode ser percebida como estratégica e sua posição de destaque polariza os outros municípios da mesorregião do Agreste alagoano e de sua microrregião ao entrelaçar atividades econômicas que são desenvolvidas tanto no campo como na cidade. Segundo Souza (2009) e Santos (2019) a formação histórico-territorial de Arapiraca deu-se inicialmente com a expansão da atividade pecuarista dos criadores de gado no século XVI para o que hoje corresponde à região Agreste de Alagoas, neste processo os índios da tribo Caeté, seus habitantes originais, foram expulsos e exterminados, assim consolidaram a conquista sobre este trecho da província de Alagoas.

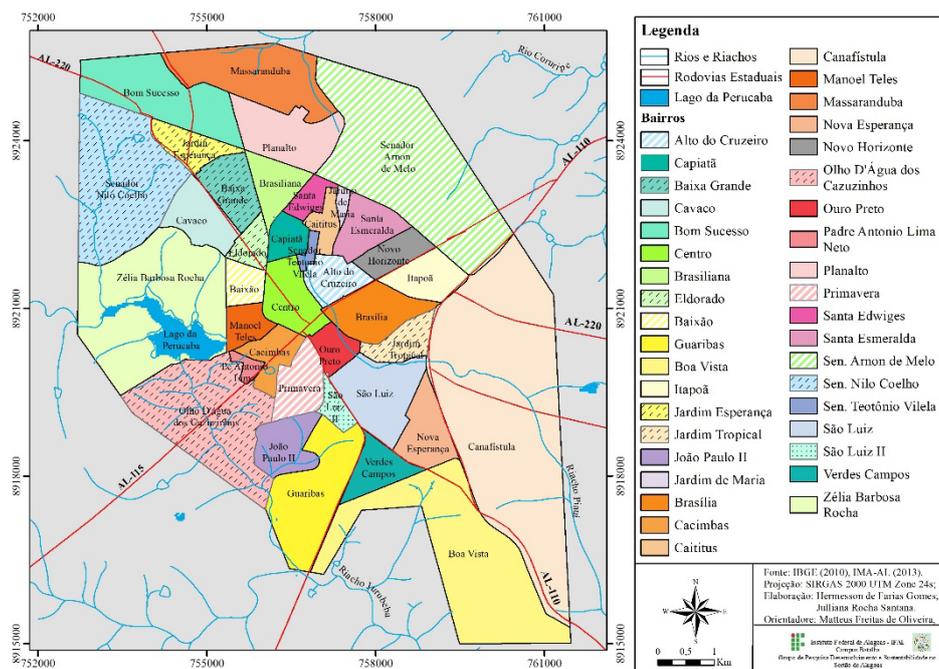
Importantes rodovias estão presentes no território de Arapiraca. No que se referem às rodovias estaduais destacam-se a AL - 220, que atravessa a cidade pelo norte, ligando o Litoral ao Alto Sertão; a AL - 110 corta a leste, conectando a cidade à Taquarana e Coité do Nória; e a AL - 115 que perpassa a cidade longitudinalmente no sentido oeste, interligando Arapiraca a Lagoa da Canoa, Girau do Ponciano e Campo Grande.

Ao se tratar do sistema rodoviário federal, Arapiraca está no centro da conexão Norte-Nordeste, graças a presença da BR - 101, ligando o estado de Alagoas as cidades de Aracajú (186 km), Recife (385 km), João Pessoa (465 km) e Salvador (684 km), sendo rota estratégica para o fluxo de mercadorias, de serviços, de capital e de pessoas, o que impacta diretamente nas alterações de sua estrutura urbana (SOUZA, 2009).

Conforme pode ser observado na figura 2, a cidade de Arapiraca possui 38 bairros. O bairro Zélia Barbosa Rocha, graças a presença do Lago da Perucaba, apresenta uma vegetação de riacho em seu entorno que arboriza a região e influencia na demanda de umidade. Os bairros mais próximos ao bairro Centro são: Baixão, Eldorado, Capiatã, Senador Teotônio Vilela, Alto do Cruzeiro, Brasília, Ouro Preto, Primavera, Cacimbinhas e o Manuel Teles, sendo assim os mais condensados e urbanizados.

Figura 2.

Bairros da cidade de Arapiraca-AL em 2020



Fonte: IBGE (2010); IMA-AL (2013).

Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa utilizou o método dedutivo com base na experiência de análise proposta por Almeida et al. (2015) em estudo referente a temperatura superficial na cidade de Maceió, associada a coleta, sistematização, processamento e análise de dados orbitais do sensor Landsat 8 OLI/TIRS por Sensoriamento Remoto - SR e análises de dados de temperatura (T °C) e pluviosidade (mm) do município de Arapiraca e seu entorno nos anos de 2013 a 2019 pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, e o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

O caminhar metodológico se desenvolveu sustentado por quatro grandes etapas, sendo-as: levantamento bibliográfico, levantamento de dados pré-existentes (pluviométricos, censitários, vetoriais e rasters), processamento e sistematização dos dados e por fim as análises finais como serão esboçadas logo em seguida.

A prospecção de literatura especializada

Na etapa de levantamento bibliográfico foram reunidas referências clássicas de estudo do clima e dos microclimas urbanos, no que tange os estudos de ilhas de calor de Monteiro (1976), Oke (1981 e 1982), Lombardo (1985), Fialho (2009) e de ilha de frescor ou de amenidade de Lombardo (1985) e Amorim (2019). Sobretudo os estudos da realidade tropical do Brasil desenvolvidos por Andrade (2005) e Nascimento e Barros (2009).

Para estabelecer relações do crescimento urbano, das alterações morfológicas das cidades, suas contradições, com as reduções das áreas verdes e a geração de microclimas, discutimos com Souza et al. (2007) e Lima et al. (2016), as ocorrências das ilhas de calor nas cidades médias brasileiras tais como Serra Talhada-Pernambuco e Feira de Santana Bahia, respectivamente, com enfoque, sobretudo, nas cidades situadas no Nordeste na qual apresentam condições climáticas similares às de Arapiraca.

Além disso, discutimos o desenvolvimento dessas pesquisas associadas ao uso do geoprocessamento enquanto ferramenta de análise espacial (PERTILLE et al., 2018). Nesse sentido, destacam-se os trabalhos de Callejas et al. (2011), Almeida et al. (2015), Souza et al. (2016) e com as aplicações do Uso e Cobertura do solo nos estudos de Barros e Lombardo (2016) e Dias (2017) buscando relações com as alterações da TS em áreas urbanizadas.

A composição do banco de dados pré-existent

Os dados rasters, compostos por imagens de satélite da plataforma Landsat 8 OLI/TIRS, correspondem aos dias 14 de abril de 2013 (período seco), 05 de dezembro de 2017 e 08 de dezembro de 2018 (período úmido), cena 215/067, com uma resolução espacial de 30 metros, exceto a banda 8, que possui 15 metros, e a banda 10 com 100 metros de resolução espacial. Foram exploradas imagens de sazonalidades diferentes a fim de considerar o comportamento foliar do domínio morfoclimático da caatinga que é dinâmico ao responder rápido a alteração de umidade na paisagem. Não utilizamos imagens de 2019 em virtude da presença de muitas nuvens que impossibilitavam o tratamento dos dados. As imagens escolhidas estão disponibilizadas no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e correspondem a produtos com menos interferências atmosféricas, do recorte temporal estabelecido nesta pesquisa, para aferição do comportamento da temperatura superficial.

Visando obter dados mais robustos foram adquiridos dados vetoriais pré existentes oriundos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, do Instituto do Meio Ambiente de Alagoas – IMA-AL e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2019), que auxiliaram na caracterização da área de estudo e permitiram a integração de dados da natureza e da sociedade no entendimento do território urbano arapiraquense.

O processamento digital das imagens -PDI

O Processamento Digital das Imagens - PDI para execução dos dados referentes a geração de classes de usos e coberturas do solo e a Temperatura Superficial - TS foram realizadas utilizando os softwares Envi 5.3, Google Earth Engine, Google Earth Pro, ArcMap 10.6.1 e Qgis 3.10.6 nas imagens Landsat 8 OLI/TIRS dos anos de 2013, 2017 e 2018.

Inicialmente foi feita a seleção das bandas que reuniam boas informações sobre vegetação, água e solo. Dentre as combinações, a que se apresentou com melhor qualidade para a finalidade do estudo foram as bandas 3, 4 e 5, na composição R5G4B3 e um filtro percent clip 1x, essa composição contribuiu para realização da foteointerpretação.

A banda 3 contém informação sobre vegetação e qualidade da água, a banda 4 dispõe de informações direcionadas a absorção da clorofila, diferenciação de espécies vegetais, áreas urbanas, uso do solo, agricultura e também qualidade da água, a banda 5 conta com a presença do sensor OLI que facilita a identificação da vegetação sadia relacionada a corpos d'água (NASA, 2013).

Posteriormente, foi gerado produtos decorrentes das imagens como o uso e cobertura do solo e com as bandas 3, 4, 5 e, em destaque, a banda 10, foram processadas as informações termais de TS da cidade de Arapiraca e seu entorno aplicado ao recorte de análise.

No que se refere a geração de classes de uso e cobertura do solo, foi aplicado o algoritmo Support Vector Machine Classification - SVM de classificação supervisionada no software Envi 5.3 para a geração de 6 classes de uso e cobertura do solo: corpos d'água, área construída, solo exposto, vegetação menos densa, vegetação mais densa e vegetação de riacho.

O algoritmo de classificação SVM opera na delimitação de limites de decisão minimizando os erros, pois se baseia na amostra de treinamento (ROIs), no qual ensina o algoritmo a mapear por meio de exemplos escolhidos, fazendo com que seja capaz reconhecer de valores ainda não visto, que sigam a mesma distribuição de probabilidade (P) dos exemplos de treinamento (NASCIMENTO; BARROS, 2009). O algoritmo SVM se diferencia no trabalho de minimização da expectativa de erro, dada pela equação:

Equação 1

Minimização da perspectiva de erro do algoritmo SVM

$$\varepsilon(\zeta) = \int \frac{1}{2} |y - f(x, \zeta)| dP(x, y).$$

O último processamento realizado foi a modelagem das bandas 4, 5 e 10 dos dados termais. Com o uso do Google Earth Engine os dados foram processados com base no estudo de Ermida et al. (2020), no qual orientam a manipulação do script metodológico criado para seu estudo de caso, tornando-o passível de adaptação para outras realidades de pesquisa. Os dados gerados da TS encontravam-se em parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para graus Kelvin (K) e finalmente convertidos para graus Celsius (° C), por fim foi feito o recorte da área de estudo na cena processada utilizando o

software ArcMap 10.6.1. As fórmulas da equação para cálculo de TS usada por Ermida et al. (2020) seguem as orientações da USGS.

Foi aplicada a equação 2 para adquirir os valores de TS, ao converter os valores de número digital (DN) ou níveis de cinza (NC) para radiância, da seguinte forma:

Equação 2

Conversão de números digitais para radiância

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância do topo da atmosfera (Watts/($m^2 * srad * \mu m$));

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Mult_Band_x, onde x é o número da banda);

AL = Fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Add_Band_x, onde x é o número da banda);

Q_{cal} = Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN).

O cálculo que converteu os níveis de radiância para níveis de temperatura em graus Kelvin (K) foi dado pela equação 3:

Equação 3

Conversão radiância para graus Kelvin (K)

$$T(K) = K_2 / \ln(K_1 / L\lambda + 1)$$

Onde:

T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);

K_2 = Constante de calibração 2 da banda 10 (1.321.08 (K));

K_1 = Constante de calibração 1 da banda 10 (774.89 (K));

$L\lambda$ = Radiância do topo da atmosfera (Watts/($m^2 * srad * \mu m$)).

Resultados e discussão

Os primeiros estudos sobre as Ilhas de Calor Urbana – ICU foram realizados na Europa, local de clima temperado, investigando a mudança termal na cidade de Londres, palco da primeira revolução industrial e espaço que experimentou as intensas e sofisticadas transformações urbanas nunca antes vistas na história (OKE 1981; LOMBARDO, 1985). No Brasil, conforme Fialho (2009), o interesse pelo estudo do clima urbano aumentou a partir da década de 1980, apesar de grande parte dos trabalhos desenvolvidos privilegiar as cidades das regiões Sul e Sudeste, totalizando cerca de 70% das publicações da temática entre os anos de 1970 à 2009.

Barros e Lombardo (2016) chamam atenção sobre a característica de tropicalidade da maior parte das cidades brasileiras, cuja principal característica são as altas temperaturas em grande parte do ano devido à forte entrada de iluminação solar. A forma pela qual o espaço urbano é produzido e reproduzido, obedecendo lógicas do modo de produção capitalista,

promove a alteração da dinâmica natural do clima, elevando as temperaturas a tal ponto de criar um microclima, ou seja, a ICU. O clima artificial urbano é um desafio ambiental para cientistas e planejadores urbanos, tendo em vista a ameaça que representa para o meio ambiente urbano e a saúde coletiva.

Segundo Fialho (2009) às ICU podem ser classificadas em três tipos: a primeira refere-se a ilha de calor atmosférica, que leva em consideração a diferença entre os tipos de uso e cobertura do solo, além da topografia e localização da área, se tornando mais evidente no período noturno, é medida por meio da temperatura do ar em transectos móveis ou pontos fixos.

O segundo tipo é classificado como ilha de calor vertical, trata-se de um modelo proposto por OKE (1981), dividido em camada intra urbana (Urban Canopy Layer - UCL) e camada limite urbano (Urban Boundary Layer - UBL). A camada intraurbana aborda desde a superfície até o nível dos telhados das edificações, é detectado em microescala, enquanto que a camada limite urbano estende-se acima do nível dos telhados, é detectada em meso escala, esses dados dependem da rugosidade urbana, velocidade dos ventos e poluição.

O terceiro tipo é classificado como Ilha de Calor de Superfície, que se baseia na estimativa da temperatura da superfície, utilizando respostas espectrais devolvidos pelos objetos espaciais em interação com a radiação eletromagnética com a luz solar (OKE, 1981). As bandas termais dos satélites são especializadas em capturar as frequências em ondas de comprimento de 0,75 nm a 1,0 nm - no infravermelho - permitindo que o Sensoriamento Remoto - SR, mesmo que a distância, promova a inferência das alterações térmicas (AMORIM, 2019). Diante dessa dinâmica de interações físicas, este estudo de caso se pautou em analisar o comportamento da Temperatura Superficial – TS e as relações com o uso e cobertura do solo, com base no geoprocessamento de imagens Landsat 8 OLI/TIRS.

Ao contrário das ICU, Amorim (2019) explica que nas ilhas de frescor ou amenidade o ar tende a ser mais fresco e mais denso, isto é, mais estável quando comparado às áreas densamente construídas e pavimentadas. Nessa mesma direção Lombardo afirma que [...] “regiões com maior concentração de espaços livres, com vegetação e nas proximidades ou junto aos reservatórios d’água, as temperaturas sofrem declínios acentuados” (p.214, 1985).

De acordo com Pertille et al. (2018), o estudo e monitoramento das mudanças de uso e cobertura do solo, é uma importante metodologia que pode ser aplicada para questões ambientais, com destaque ao zoneamento e o planejamento estratégico dos recursos naturais. Essa metodologia é imprescindível para a compreensão das dinâmicas das mudanças climáticas global, associada a modelagem em escala regional e local. A substituição da cobertura vegetal por uma cobertura asfáltica e áreas edificadas, interfere diretamente no albedo, na capacidade térmica e condutibilidade de calor, fazendo com que haja diminuição da umidade na superfície, que atua na evapotranspiração, alterando os fluxos radioativos e de superfície (ERMIDA, et al.,2020).

O crescimento urbano nas cidades do Sul global, apresentam modelos espontâneos de edificações, que transformam áreas rurais em áreas urbanas. As alterações implicam na transformação sistêmica da paisagem e seus elementos constituintes, bem como, deslança o conflito da posse, do uso e do preço do solo na cidade em expansão (CARLOS, 2007).

Segundo Monteiro (1976), o uso de materiais altamente reflexivos altera o comportamento da radiação solar incidente na área urbana, resultando na produção de microclimas, como as ilhas de calor e de frescor. Esses fenômenos podem ser analisados por meio do PDI. O uso do SR tem sido crescente e além disso dispomos, em bancos de dados gratuitos, de robustos registros históricos, possibilitando a análise temporal do fenômeno de ilhas de calor por temperatura superficial (PERTILLE et al., 2018).

Para obtenção multitemporal dos mapas de uso e ocupação do solo da região de Arapiraca, nos anos de 2013, 2017 e 2018, realizamos o PDI do recorte da cena 215/067 do sensor Landsat 8 OLI/TIRS, na composição R5 G4 B3, de forma supervisionada no software Envi 5.3 e posteriormente foram organizadas em produtos cartográficos nos programas ArcMap 10.6.1 e Qgis 3.10.6. O algoritmo que apresentou o melhor resultado foi o Support Vector Machine Classification - SVM, na qual foram separadas 6 classes de uso e cobertura do solo: corpos d'água, área construída, solo exposto, vegetação menos densa, vegetação mais densa e vegetação de riacho.

Vale salientar que outros classificadores também foram testados, como por exemplo o Minimum Distance Classification e a Máxima Verossimilhança, contudo, para esta pesquisa o SVM apresentou resultados satisfatórios para diagnosticar áreas construídas (provável concentração de calor superficial) e áreas verdes (baixa concentração de calor superficial).

No geral, as classes foram divididas em 3 níveis: uma correspondendo ao ambiente aquático em que suas características, em estudos de temperatura, indicam processos de maior absorvância e produção de umidade, ou seja, áreas onde há a disponibilidade de água para os processos de evaporação e evapotranspiração, apresentam alto nível de fluxo de calor latente (OKE, 1982). O segundo nível corresponde às classes da natureza, com as variações de concentração de biomassa em virtude da dinâmica do dossel, que indica maior concentração de umidade e conforto térmico. As áreas naturais absorvem até 50% da radiação de onda curta e até 95% da radiação de onda longa (GARTLAND, 2010; BARBIRATO et al, 2007), e por fim o terceiro nível refere-se às classes antropizadas, no qual observamos maior refletância e possibilidade de desconforto térmico (OKE, 1982; KOYANAGI, 2019).

A primeira imagem processada, ver figura 3, é referente a estação seca e foi capturada pelo sensor no dia 14 de abril de 2013. A Classificação SVM apontou a classe solo exposto como a maior espacialidade em toda área, representada por 38%, seguida pela classe vegetação menos densa com 26% e área construída com 23,8 %.

As classes que representam as ações antrópicas, como a área construída e o solo exposto, ocupam cerca de 62 % com 172,97 km² de área. Apesar de entrarem em conflito em

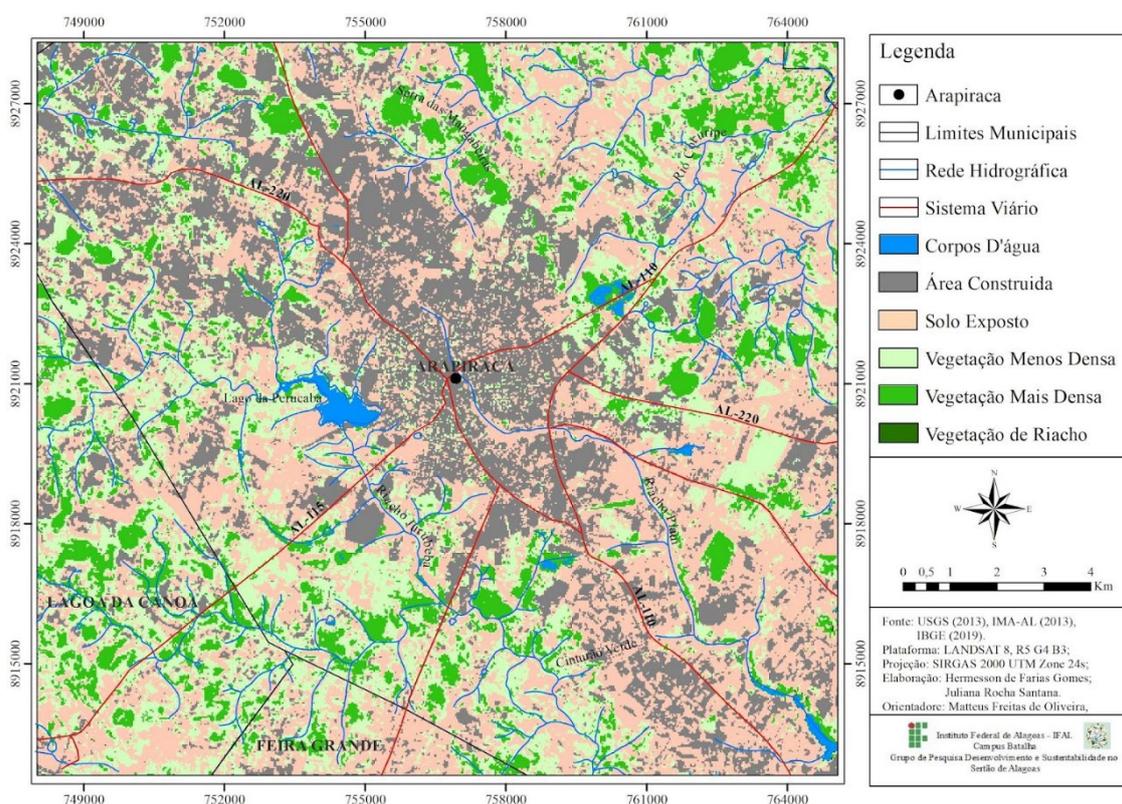
função da resolução de 30 metros da imagem, gerando sobreposição em algumas áreas, essas classes apresentam condições semelhantes, como aponta Callejas et al. (2011), ao relacionar valores de TS do solo exposto e da área urbana na cidade de Várzea Grande no estado de Mato Grosso do Sul.

A classe vegetação de riacho é a menor expressão espacial na carta, restrita a pequenas manchas nos cursos d'água, ocupando 0,03% da área, seguida do corpo d'água com 0,67% e a vegetação densa com 11,5%. As classes relacionadas à concentração de biomassa somam cerca de 37,53 % em uma área de 98,32 km². Os baixos índices de resposta de biomassa estão relacionados com o período de estiagem, em todo o Nordeste, caracterizado pela seca e baixos níveis pluviométricos, em especial no estado de Alagoas.

A classe de vegetação menos densa se confunde com áreas de plantação permanente e sua concentração ocorre no setor oeste do mapa com alguns fragmentos espalhados no setor leste. O parcelamento do solo, em unidades rurais pequenas, acrescidas de multiusos, não possibilitou a separação detalhada dos objetos espaciais, que possui limitação quanto a característica da escala do produto (ACCIOLY et al. 2008).

Figura 3.

Uso e Cobertura do solo de 14 de abril de 2013 da cidade de Arapiraca e seu entorno



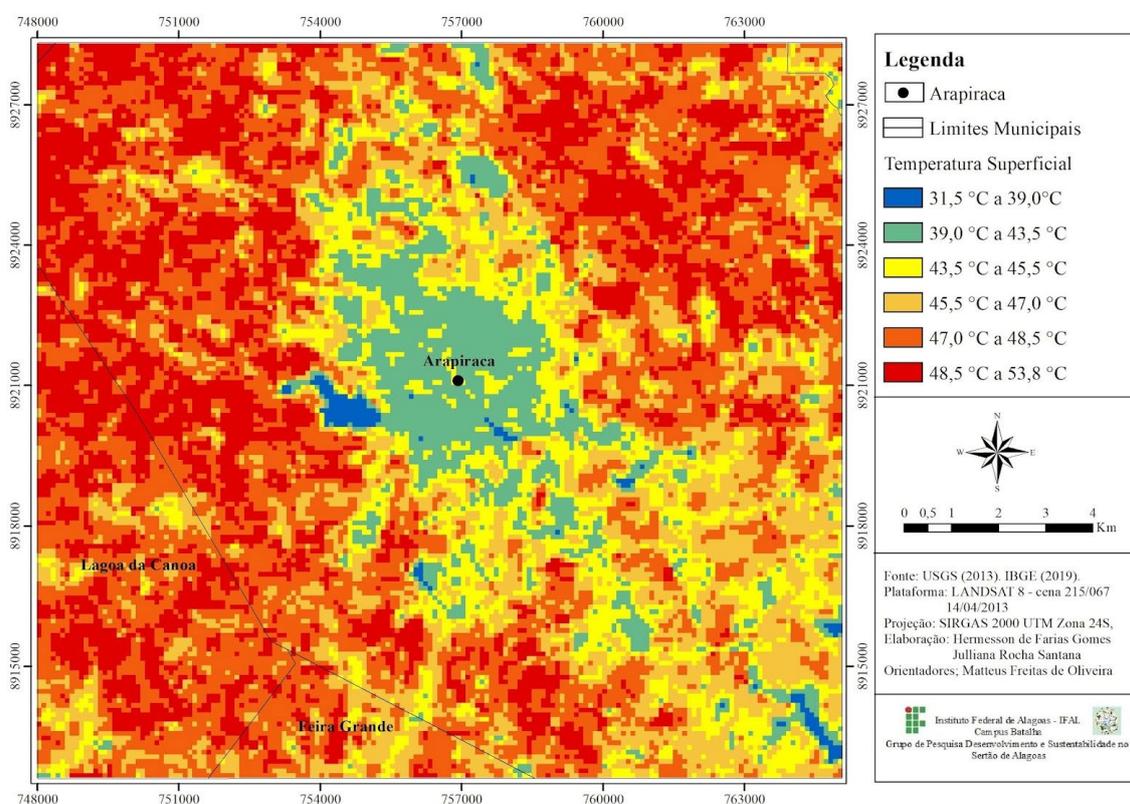
A imagem de 2013, ver figura 4, corresponde a um contexto de baixa precipitação durante um longo período, já que abril é o mês de passagem da época seca para o período

chuvoso aumentando a irregularidade das chuvas e contribuindo para o aumento sazonal da TS em Arapiraca (INMET, 2013; XAVIER; DORNELLAS, 2005).

Apesar do visível período de seca, foi observado a presença de áreas verdes dentro da malha urbana, que correspondem a trechos no qual bordejam os cursos d'água, como os riachos Jurubeba e Piauí, áreas de cultivo da agricultura familiar, praças e ruas relativamente com boa arborização. De modo geral, o entorno apresenta as temperaturas mais elevadas correspondendo às classes de vegetação menos densa e solo exposto e as áreas de frescor estão associadas a presença da classe corpos d'água, com destaque ao Lago da Perucaba e a barragem do riacho Piauí (ver figura 4).

Figura 4.

Temperatura superficial da área de recorte no dia 14 de abril de 2013 da cidade de Arapiraca e seu entorno



Fonte: USGS (2013); IBGE (2019).

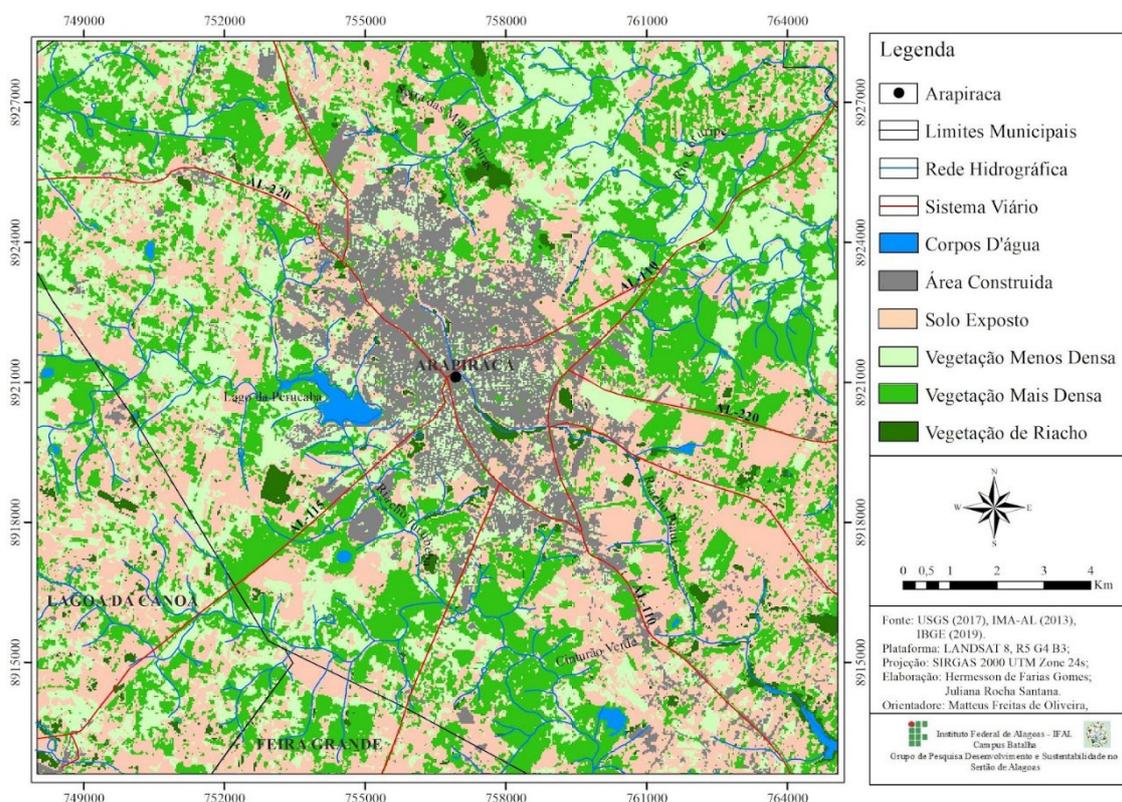
Buscando pormenorizar as análises na escala da cidade, recortamos os resultados associados a delimitação de bairros de Arapiraca segundo o IBGE (2019). É possível observar que os bairros do miolo são os que apresentam os menores valores de temperatura, pois nesses espaços encontram-se praças arborizadas e bosques. Em contraposição, os bairros situados em posição de franja urbana, áreas de transição para o espaço rural, como Senador Arnon de Melo, Massaranduba, Bom Sucesso, Canafistula, Boa Vista e sobretudo Senador Nilo Coelho, Zélia Barbosa e Olho d'Água dos Cazuzinhos a oeste da malha urbana, apresentam temperaturas

mais elevadas entre $43,5^{\circ}$ a $45,5^{\circ}$ C, recebendo forte influências do entorno, além de se encontrarem em áreas periféricas e carentes de planejamento, concentrando os índices mais altos de pobreza.

A figura 5, correspondente a imagem do dia 05 de dezembro de 2017, apresentou satisfatória separação dos objetos espaciais no uso e cobertura do solo com o classificador SVM. No que se refere a classificação dos corpos d'água, que correspondem a 0,7% do recorte, o processamento discriminou as principais ocorrências com o Lago Perucaba, algumas barragens cheias, em virtude das chuvas sazonais e os trechos mais robustos dos riachos Jurubeba e Piauí.

Figura 5.

Uso e cobertura do solo de 05 de dezembro de 2017 da cidade de Arapiraca e seu entorno



Fonte: USGS (2017); IMA-AL (2013); IBGE (2019).

No que se refere às classes da natureza, que totalizam 55,7% do recorte, houve um aumento significativo na identificação das matas ciliares, chamadas de vegetação de riacho, passando para 2% na área total, tendo um acréscimo de 1,97% com referência à imagem de 2013. A vegetação menos densa passou de 26% em 2013 para 23% em 2017, reduzindo os conflitos com a vegetação de riacho e encontra-se concentrada no setor nordeste e fragmentada no setor sudoeste. A vegetação mais densa encontra-se no setor extremo nordeste e teve um aumento de 19,2%, comparando os dois anos, totalizando 30,7% em 2017, o que corresponde uma área de 81,05 km². Em relação a imagem anterior é notório o aumento da pluviosidade

na região devido a resposta espectral da vegetação. Observamos sua ocorrência no setor sudoeste podendo estar atrelado ao Cinturão Verde de Arapiraca, segundo Santos (2019), portanto não correspondendo a vegetação natural.

Esta classificação destaca a presença de cobertura vegetal dentro da malha urbana de Arapiraca. De acordo com Saydelles (2005), mesmo em pequenos fragmentos, dentro do próprio perímetro urbano, existem diferenças significativas de microclima na escala da cidade, resultantes da presença ou não de vegetação. Em alguns casos a vegetação pode atuar amenizando as altas temperaturas e promovendo o fenômeno de ilhas de frescor. Gartland (2010), aponta duas maneiras de como a vegetação ameniza os efeitos da ilha de calor: (1) a sombra proporcionada pela copa das árvores, (2) processo de evapotranspiração, essa segunda atua aumentando a umidade relativa do ar.

Com relação às classes referentes à antropização, 43,6% da área total, segue com a presença representativa dos solos expostos ocupando cerca de 33,6% correspondendo a 88,70 km². Essa classe, que sofreu uma leve redução de 2% entre 2013 para 2017, também se refere à ocorrência de campos inativos, ou ainda aos destinados às culturas agrícolas temporárias. Tais áreas, mesmo na zona rural, agem de forma contrária aos fragmentos de vegetação, potencializando a elevação da temperatura no entorno da cidade. A área construída, que ocupa 10% do recorte em uma área de 26,40 km², apresenta uma conjuntura espacial que reúne materiais civis que absorvem durante o dia a energia solar e artificial, que são significativos para a geração do fenômeno de ilha de calor. Dessa forma a classificação de 2013 apresenta-se mais coerente, reduzindo drasticamente a sobreposição de informações anteriormente espacializadas.

A figura 6 corresponde aos resultados do processamento da TS da imagem de 05 de dezembro de 2017, marcado por intenso período de chuva (INMET, 2017). A presença de chuvas promoveu maior uniformidade na distribuição dos valores de temperatura aumentando a resposta espectral da vegetação devido ao seu comportamento sazonal. Apesar de haver presença de altos valores de TS dentro da malha urbana, a maior parte se encontra no entorno da cidade, sobretudo na faixa nordeste do recorte.

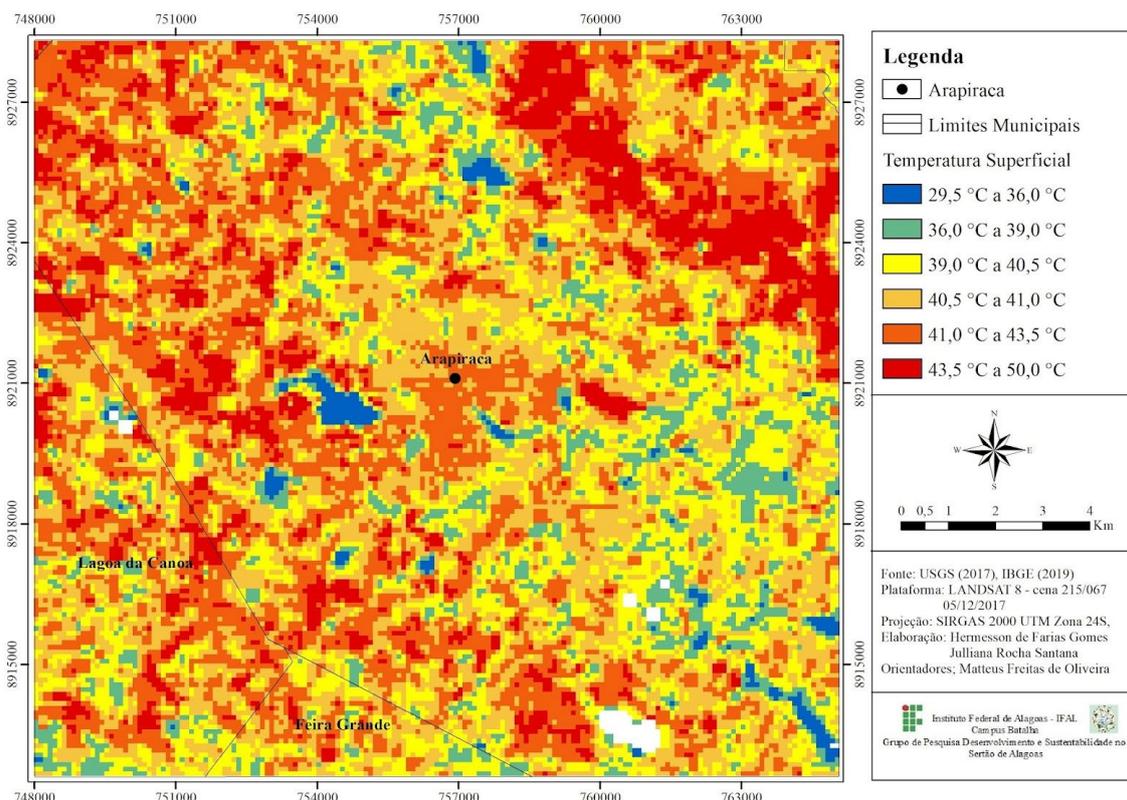
As classes que concentraram as maiores TS em 2017 foram: solos expostos, áreas construídas e vegetação menos densa. Por outro lado, as classes que registraram menores TS foram: corpos d'água, vegetação mais densa e vegetação de riacho. É válido ressaltar que alvos de mesma classe podem apresentar diferentes valores de TS por conta das suas particularidades, como por exemplo a influência do arranjo dos objetos imageados ao redor de determinado alvo. De modo geral, a área onde se verificou as temperaturas mais elevadas situa-se na porção nordeste, seguida do noroeste e oeste, resultados das atividades de usos do solo intenso. As áreas mais frias correspondem às classes de corpos d'água.

Ao realizar uma análise na escala da cidade foi possível observar alguns bairros com presença do fenômeno de ilha de frescor, na qual causam o efeito de resfriamento em alguns

pontos próximos aos bairros Ouro Preto, São Luiz, João Paulo II, Cacimbas, Brasiliana e Bom Sucesso. A oeste, de acordo com a figura 6, os bairros apresentam a TS elevada, com destaque Zélia Barbosa, Olho d'Água dos Cazuzinhas, Senador Nilo Coelho. No miolo os bairros mais quentes são Brasília, Primavera, Centro, Cacimbas, Ouro Preto, Alto do Cruzeiro. Destacamos o bairro Zélia Barbosa que além de apresentar as temperaturas mais altas, em função da presença do Lago da Perucaba, também apresenta índices de temperatura relacionados a ilha de frescor.

Figura 6.

Temperatura superficial das áreas de recorte no dia 07 de dezembro de 2017 da cidade de Arapiraca e seu entorno



Fonte: USGS (2017); IBGE (2019).

A última imagem processada, ver figura 7, foi a referente ao dia 08 de dezembro de 2018. Das três imagens, na sequência do recorte multitemporal desta pesquisa, a classificação SVM de uso e cobertura do solo de 2018 apresentou-se mais fiel à realidade. Além de detectar as mudanças das classes no recorte de tempo, notamos a expansão acelerada da malha urbana, quando comparada a imagem de 2013. A cidade tem acompanhado as rodovias e os percursos dos rios e riachos, com destaque aos riachos Piauí e Jurubeba. Esse crescimento promove a diminuição da mata ciliar e gerando desequilíbrio na nascente do riacho Piauí (SANTOS, 2019).

Entre as três classificações, a referente a 2018 possuiu a menor espacialidade dos corpos d'água, 0,5% e uma área de 1,32 km². No que tange às classes relacionadas aos objetos

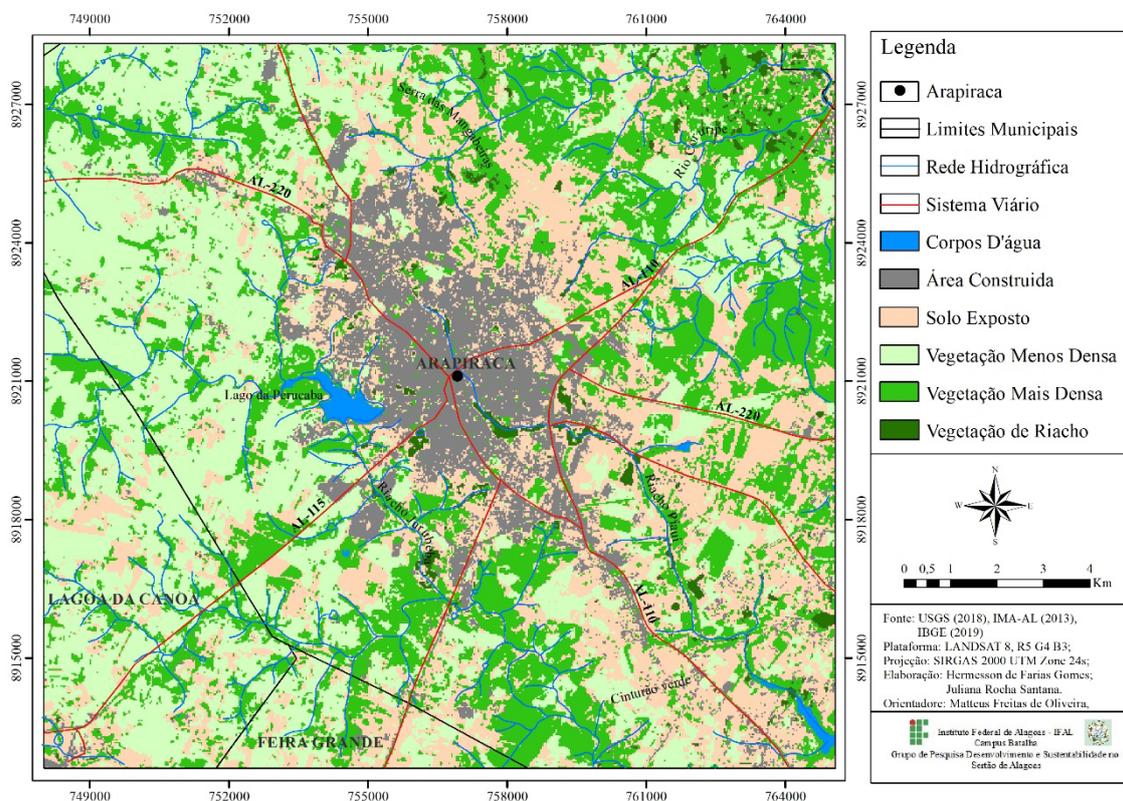
da natureza, estas ocupam cerca de 62,5% de todo o recorte. Apesar dessa alta representatividade, algumas culturas permanentes respondem com similaridade a áreas vegetadas. A classe vegetação de riacho manteve o percentual de 2%, similar a 2017. Ao contrário, a classe de vegetação menos densa teve um aumento de 23% em 2017 para 32,5% em 2018 e situa-se mais no setor oeste.

Esse acréscimo está ligado à expansão e diversificação das culturas de hortaliças no Cinturão Verde, o que sinaliza as limitações de resolução espacial da imagem Landsat 8 em função do parcelamento do uso do solo em minifúndios. Na classe vegetação mais densa, houve uma redução de 1,3%, migrando de 30,7% em 2017 para 28% em 2018, totalizando uma área de 73,92 km², que está concentrada no extremo nordeste e em uma parte significativa do Sudoeste.

Na figura 7 é observada a menor ocorrência de solo exposto, em comparação aos anos anteriores, com ocupação de 27% da imagem e 71,28 km², e a classe de área construída permanece com a mesma representação de 10%. A presença significativa dessas duas classes oferece possibilidade para formação de Ilha de Calor na cidade de Arapiraca.

Figura 7.

Uso e cobertura do solo de 08 de dezembro de 2018 da cidade de Arapiraca e seu entorno



Fonte: USGS (2018); IMA-AL (2013); IBGE (2019).

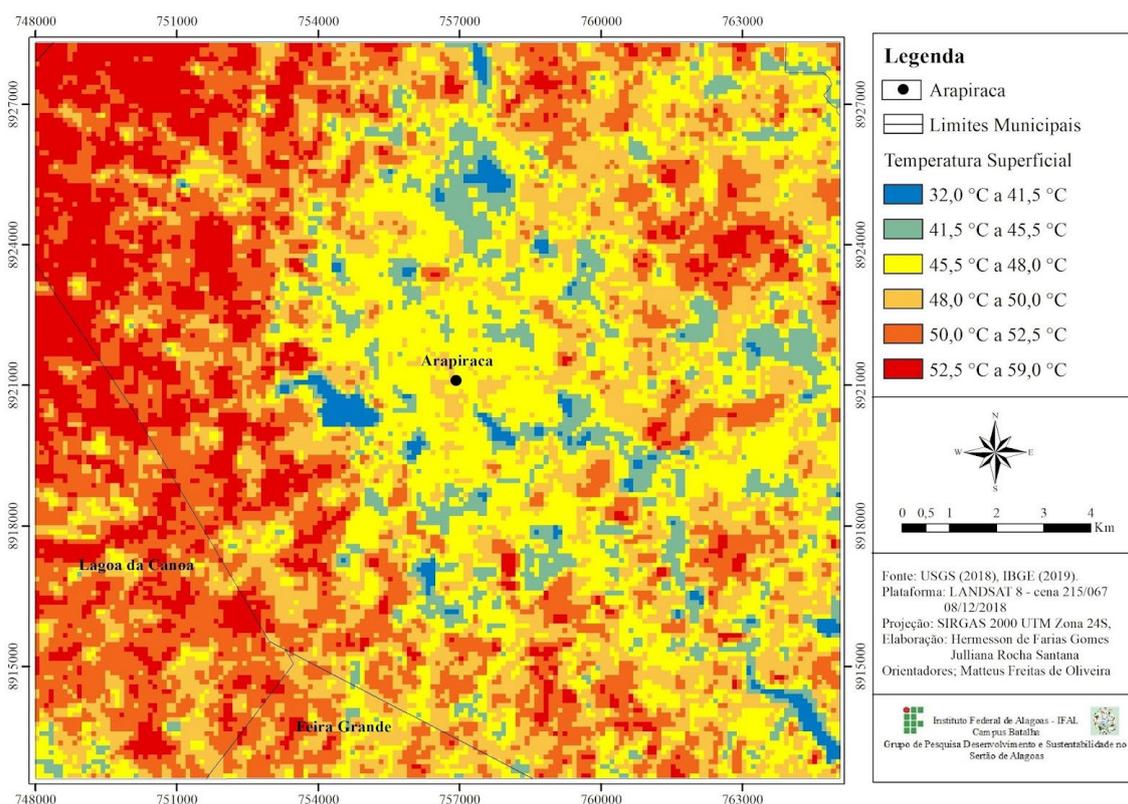
Na análise de TS (ver figura 8), a imagem do dia 08 de dezembro de 2018 é resultado de um período chuvoso, no entanto os valores de TS no miolo da cidade se mostram mais uniformes. A análise comparativa entre 2013, 2017 e 2018 apontou para um perfil de crescimento da TS, indicando o início do processo de formação de ICU.

As classes que apresentaram os maiores valores de TS no mapeamento de uso e cobertura do solo do recorte da imagem de 2018 foram: solos expostos e vegetação menos densa. As classes que se mostram com os menores valores de TS são corpos d'água, vegetação mais densa e vegetação de riacho.

A frequente ocorrência dos solos expostos em todas as imagens mostra como a exploração do solo afeta o clima da cidade e seu entorno. De modo geral, as áreas mais quentes no recorte situam-se a oeste-noroeste e uma mancha considerável a nordeste. Em função das abundantes chuvas da época, a classe corpos d'água foi a mais expressiva, gerando temporariamente a sensação de frescor em várias áreas do recorte.

Figura 8.

Temperatura superficial da área de recorte no dia 08 de dezembro de 2018 da cidade de Arapiraca e seu entorno



Fonte: USGS (2018); IBGE (2019).

Analisando a malha urbana é possível observar que os bairros da zona leste da cidade apresentam ocorrência de vegetação mais densa e corpos d'água, contribuindo com a amenização das temperaturas dos bairros situados mais ao sul como Canafistula e Senador

Arnon de Melo. De modo contrário, os bairros mais atingidos pelo efeito das TS elevadas são Bom Sucesso, Senador Nilo Coelho, Zélia Barbosa Rocha e Olho d'Água dos Cazuzinhas.

No miolo os bairros com a maior concentração de temperatura, entre 50^o C a 52,5^o C, refletem as edificações, asfaltamento e o movimento de pessoas e veículos. Dentre eles temos os bairros Centro, Brasília, Ouro Preto e Senador Teotônio Vilela.

Conclusões

A cidade de Arapiraca é o segundo espaço urbano mais estratégico no território alagoano, tanto em porte populacional, tamanho da malha urbana, articulação de rede e hierarquia, funções e infraestrutura rodoviária. Em sua importância Arapiraca consegue articular uma região metropolitana no Agreste de Alagoas enquanto cidade média.

O estudo realizado traz a cena a cidade média como espaço urbano de possibilidade de ocorrência do fenômeno de ICU, descentralizando muitas pesquisas que apontam apenas a metrópoles, com seus espaços densamente edificadas. Na cidade média asfaltos, calçamentos, concretos, lajes, paredes, coberturas diversas absorvem a energia proveniente da iluminação diurna e aquece o centro e áreas mais densamente construídas e espalhadas na urbe, contribuindo para a formação da ilha de calor.

A análise temporal do uso e cobertura do solo associado ao comportamento da TS na cidade de Arapiraca e seu entorno, em 2013, 2017 e 2018, nos permitiu relacionar as classes de maior alteração antrópica com as maiores ocorrências de TS elevadas, ao mesmo passo em que as áreas de maior concentração de biomassa emitiram menores valores de TS, mesmo sem a utilização de imagem do não de 2019, que apresentava muitas nuvens impossibilitando tratamento dos dados. Essa relação fortaleceu a compreensão de múltiplas variáveis do uso e cobertura para influenciar a produção das ICU na cidade de Arapiraca e seu entorno.

O alto parcelamento do solo, em pequenas e médias propriedades agrícolas, a policultura que dinamiza o campo arapiraquense, acrescidos da resolução espectral das imagens Landsat 8, de 30 metros, apresentaram limitações para validar a presença efetiva da ICU. Apesar de manchas de calor apresentarem alteração da TS, de 2013 a 2018, não há elementos o suficiente para que se afirme a ocorrência do fenômeno de ilha de calor em Arapiraca.

REFERÊNCIA

- ACCIOLY, L. J. de O, SILVA, A. B. da, LOPES, L. L, SILVEIRA, H. L. F. da, SILVA, E. A da, SILVA, J. A. da, ALVES, E. da S, MENEZES, A. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas – ZAAL. Relatório de Uso e Cobertura das Terras do Estado de Alagoas.** Alagoas, p. 48, 2008;
- ALMEIDA, A. J. P. de, GUIMARÃES JUNIOR, S. A. M, ANDRADE, E. de L, FERREIRA NETO, J. V. **Relação entre o Índice de Vegetação e a Temperatura de Superfície na estimativa**

- e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL.** In: XVII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto - SBSR, 17, 2015, João Pessoa-PB. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. João Pessoa-PB: Inpe, p. 2047 - 2054, 2015;
- AMORIM, M. C. de C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba - Pr, v. 1, n. 1, p: 22 - 46, Junho, 2019;
- ANDRADE, H. **O clima urbano - natureza, escalas de análise e aplicabilidade.** Finisterra, Lisboa, Portugal, v. , n. 80, p. 67 - 91, 2005; 5. ASSIS, W. L. **O Sistema Clima Urbano do Município de Belo Horizonte da Perspectiva Têmporo-Espacial.** Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010;
- BARBIRATO, G. M, SOUZA, L. C. L. de, TORRES, S. C. **Clima e cidade: uma abordagem climática como subsídio para estudos urbanos.** Maceió: Ed. da UFAL, 2007. 164 p.
- BARROS, H. R, LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geousp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 160 - 177, 2016;
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Arapiraca, estado de Alagoas/** Organizado por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior. Recife: CPRM/PRODEEM. 2005;
- CALLEJAS, I. J. A, DURANTE, L. C, OLIVEIRA, A. S. de, NOGUEIRA, M. C. de J. A. **Uso do solo e temperatura superficial em área urbana.** Mercator, v. 10, n. 23, p. 207 – 223, Dezembro, 2011;
- CARLOS, A. F. A. **O espaço urbano: novos escritos sobre a cidade.** São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, p. 123, 2007;
- DIAS, R. dos S. **Análise do clima urbano de uma cidade de porte médio: avaliação do campo térmico na cidade de Feira de Santana – Bahia.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santana, p. 88, 2017;
- ERMIDA, S. N. L, SOARES, P, MANTAS, V, GÖTTSCHE, F.-M. TRIGO, I. F. **Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series.** Remote Sensing, v. 12, n. 9, Maio, p. 1471, 2020;
- FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009; 14. GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010;
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010, projeção de 2019.** 2019;
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos - 2013.** 2013;
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos - 2017.** 2017;
- JESUS, R. J. de. **Avaliação do comportamento da temperatura da superfície terrestre do município de Cariacica (ES) em 1985 e 2013.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2016;
- KOYANAGI, Y. **Identificação de ilhas de calor e aspectos urbanos na cidade de Francisco Beltrão, Paraná, Brasil.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão - PR, 2019;
- LIMA, L. B, MACHADO, R. A. S, FUENTES, M. C. **Análise da formação de ilhas de calor no centro de Feira de Santana - BA.** In: V Simpósio Cidades Pequenas e Médias na Bahia, 2016, Ilhéus - BA. Anais do V Simpósio Cidades Pequenas e Médias na Bahia, 2016;

- LOMBARDO, M. A. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, p. 214, 1985;
- MACHADO, R. A. S, LIMA, L. B, SILVA, M. P. da C. da. **Indicadores ambientais urbanos: análise das ilhas de calor, concentração de CO² e níveis de ruído no centro de Feira de Santana – Bahia**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 17., 2015, João Pessoa-PB. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. João Pessoa-PB: Inpe, p. 0888 - 0894, 2015;
- MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo, n. 25 (Série, Teses e Monografias). 1976;
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 8**. 2013; 25. NASCI-
MENTO, D. T. F, BARROS, J. R. Identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiânia – GO/2001. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia – Goiás – BR, v. 29, n. 1, p. 119 - 134, Janeiro/Junho, 2009;
- OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. **J. Climatol**, v. 1, p: 237 - 254, 1981;
- OKE, T. R. The energetic basis of the urban Heat Island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Chichester, v. 108, n. 455, p. 1 - 24, 1982;
- PERTILHE, C. T, SILVA, G. O, DE SOUZA, C. F, NICOLETTI, M. F. Estudo da Eficiência de Classificações Supervisionadas Aplicadas em Imagem de Média Resolução Espacial. **BIOFIX Scientific Journal**, v.3, n. 2, p. 289 - 296, 2018;
- SANTOS, J. B. dos, AMORIM, R. F. C. de, CAVALCANTE, L. P. de A. Análise do conforto térmico humano no município de Arapiraca - Alagoas, utilizando software MATLAB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 939 - 948, 2014;
- SANTOS, P. C. L. dos. **Arapiraca e sua expressão enquanto cidade média no contexto regional alagoano**. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Geografia, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió - AL. 2019;
- SAYDELLES, A. P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria – RS**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005;
- SILVA, M. F. da, SANTOS, M. N. dos, BARBIRATO, G M, BARBOSA, R. V. R. **Avaliação do ambiente térmico urbano em Arapiraca-AL**. 8º congresso luso-brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável (pluris). Coimbra – Portugal, Outubro, 2018;
- SOUZA, J. C. O. de. Reestruturação urbana e interações espaciais em cidades médias: o exemplo de Arapiraca, Alagoas. **Revista Geografia em Questão**, Cascavel - PR, v. 1, n. 2. p. 107-117, 2009;
- SOUZA, J. F. de, SILVA, R. M, SILVA, A. M. **Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa – PB**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 21 - 37, Janeiro/Março, 2016;
- SOUZA, S. F. de, ARAÚJO, M. do S. B, GALVÍNCIO, J. D. Mudanças do uso da terra no município de Serra Talhada - PE utilizando Análise por Componentes Principais (ACP). **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, n. 3, Setembro/Dezembro, 2007;
- XAVIER, R. A, DORNELLAS, P. da C. **Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca, região agreste de Alagoas**. Geografia, Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências, v. 14, Julho/Dezembro, 2005;