



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



## Nexo entre o uso e a ocupação do solo e o clima urbano em Fortaleza/CE

Adriely Santos Ribeiro<sup>1</sup>, Aderson Barbosa Costa<sup>2</sup>, Jhonatan Freitas Rabelo<sup>3</sup>, Emerson Mariano da Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mestra em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Campus Do Itaperi. Fortaleza/CE, Cep: 60.714.903, [adrielysantosr0@gmail.com](mailto:adrielysantosr0@gmail.com).

<sup>2</sup>Mestre em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Campus Do Itaperi. Fortaleza/CE, Cep: 60.714.903, [costa.aderson@gmail.com](mailto:costa.aderson@gmail.com).

<sup>3</sup>Graduado em Física, Universidade Estadual do Ceará, Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Campus Do Itaperi. Fortaleza/CE, Cep: 60.714.903, [jhonatanfreitasrabelo@gmail.com](mailto:jhonatanfreitasrabelo@gmail.com).

<sup>4</sup>Professor Associado do Curso de Física da Universidade Estadual do Ceará, Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Campus Do Itaperi. Fortaleza/CE, Cep: 60.714.903, [emerson.mariano@uece.br](mailto:emerson.mariano@uece.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9131-9820>.

Artigo recebido em 14/08/2023 e aceito em 26/05/2024

### RESUMO

Atualmente, um dos fatores considerados responsáveis pelas excessivas alterações no meio ambiente é a frequente expansão urbana. As constantes transformações nas características pedológicas são evidenciadas na atmosfera, na intensidade das precipitações e no cotidiano dos seres humanos. As mudanças climáticas podem possuir causas naturais e antrópicas, este último, interfere, principalmente, nos centros urbanos. A pesquisa busca compreender como os padrões, uso e ocupação do solo altera o microclima do município de Fortaleza através de uma análise temporal, com a construção de mapas de elementos que compõem o clima. As características urbanas que estão diretamente associadas ao adensamento e uso do solo são elementos que possuem capacidade de alterar os elementos climáticos. Como metodologia foi utilizada a análise das mudanças nesses aspectos revisando dados dos órgãos competentes como IBGE, IPEA, EMBRAPA, entre outros e imagens de Landsat, buscando compreender como a geomorfologia, vegetação, recursos hídricos e cobertura do solo afetam no clima. Para a construção dos mapas pedológico, vegetação, temperatura da superfície do solo, uso e ocupação e altimetria local, usando dados dos órgãos responsáveis o intervalo do 1991 e 2021, averiguando possíveis anomalias climáticas, evidenciando a influência das mudanças do comportamento do microclima da área estudada. Assim, o estudo contribui no diagnóstico das mudanças evidenciadas em Fortaleza devido ao processo de crescimento urbano, podendo ser usado para um espelhamento de futuros projetos local e elevam dados que podem ser considerados pelos gestores para a tomada de medidas que colaboram com a melhoria da qualidade ambiental e de vida da população.

Palavras-chaves: Microclima de Fortaleza. Geoprocessamento. Uso e ocupação do solo.

## Link Between land use And occupation and urban climate in Fortaleza/CE

### ABSTRACT

Currently, one of the factors considered responsible for excessive changes in the environment is the frequent urban expansion. The constant transformations in soil characteristics are evidenced in the atmosphere, in the intensity of precipitation and in the daily lives of human beings. Climate change can have natural and anthropogenic causes, the latter mainly affects urban centers. The research seeks to understand how patterns, land use and occupation alter the microclimate of the city of Fortaleza through a temporal analysis, with the construction of maps of elements that make up the climate. The urban characteristics that are directly associated with densification and land use are elements that have the ability to change climate elements. As a methodology, the analysis of changes in these aspects was used, reviewing data from competent bodies such as IBGE, IPEA, EMBRAPA, among others and Landsat images, seeking to understand how geomorphology, vegetation, water resources and soil cover affect the climate. For the construction of pedological maps, vegetation, soil surface temperature, use and occupation and local altimetry, using data from the responsible bodies between 1991 and 2021, investigating possible climate anomalies, evidencing the influence of changes in the behavior of the area's microclimate studied. Thus, the study contributes to the diagnosis of the changes evidenced in Fortaleza due to the urban growth process and can be used to mirror future local projects and raises data

that can be considered by managers for taking measures that collaborate with the improvement of quality. environment and the life of the population.

Keywords: Microclimate of Fortaleza. Geoprocessing. Land use and occupation.

## Introdução

A cidade é o espaço que o ser humano vive e assegura sua relação com semelhantes e com a natureza, esse meio pode ser compreendido como uma “derivação antrópica do ambiente” (Monteiro, 1990). Com isso, torna-se necessário que o ambiente se desenvolva. Esse progresso corrobora para que o clima urbano se modifique como maior rapidez. Assim, foi inserido o conceito de “*air within city*” que pode ser entendido como a transformação do ar na cidade, ou “*air over city*” que significa ar acima da cidade, e é mais usado por meteorologistas, essas percepções destacam a interferência direta do homem na dinâmica climática (Monteiro, 1976).

Em um contexto mais amplo, os processos físicos são complexos para monitoramento, esses dados são melhores obtidos através de sensores instalados em satélites, pois possuem quantitativos de dados e imagens de alta resolução. Os sistemas atuais utilizando sensoriamento remoto nas bandas visíveis e infravermelha está ganhando espaço nas pesquisas de crescimento urbano, estatísticas populacionais, alterações no uso e ocupação do solo e índices de vegetação (Gallo e Xian, 2014; Souza, 2016; Siqueira et al., 2022; Silva et al., 2023).

Neste contexto, considerando o crescimento populacional e o avanço na estruturação das cidades, denominado de expansão urbana, fica evidente a importância de estudos sobre o uso e ocupação do solo para diagnosticar e entender como estas atividades antrópicas podem alterar o clima urbano nestas regiões.

Em particular para a região semiárida do nordeste brasileiro, onde se encontra a maior porção territorial do Estado do Ceará (SUDENE, 2017), para estes estudos contam-se, por exemplo, com as imagens do satélite Landsat disponíveis pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e com dados meteorológicos que representam a climatologia das chuvas e da temperatura do ar, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Assim, visando compreender o nexo entre o crescimento abundante e desordenado da zona

urbana no município de Fortaleza/CE e a elevação da temperatura do ar próximo da superfície terrestre da capital cearense. Primeiro, buscou-se compreender os aspectos gerais do município, tais como a vegetação pretérita, unidades geoambientais, hipsometria, zonas climáticas, zonas de temperatura e umidade, tipos de cobertura vegetal, para que assim se inicie as análises dos dados necessários para a compreensão dessa possível relação entre clima urbano, o uso e a cobertura do solo nesta região.

O percurso metodológico do estudo usa a comparação de mapas das mudanças geológicas, geomorfológicas, uso e ocupação do solo, altimétrico, e a análise estatística da climatologia das chuvas e da temperatura da superfície terrestre, e do índice de vegetação normalizada, no período entre os anos de 1991 e 2021. Informações que subsidiaram as discussões das possíveis mudanças ocorridas ao longo das décadas em função das interferências antrópicas na capital cearense.

## *Fenômenos meteorológicos que influenciam o clima local*

O clima da região Nordeste do Brasil, em geral, é classificado como semiárido, com isso, os estudos de variabilidade da temperatura média do ar nesta região mostram que esta variável meteorológica se mantém, em geral, constantemente elevada e com baixa variabilidade (Azevedo et al., 1998; Ferreira e Mello, 2005). A figura 1 mostra a variabilidade de temperatura média do ar observada na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada em Fortaleza/CE.

Em relação a precipitação pluviométrica (chuvas) observada nesta região destaca-se a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é um sistema meteorológico observado nos trópicos e pode ser considerado um dos mais importantes fenômenos meteorológicos produtores de chuvas na região tropical (Melo et al., 2000). A posição da ZCIT influencia na precipitação pluviométrica em todas as regiões tropicais, desde o continente africano até os continentes americano e asiático, derivada da influência entre a convergência dos ventos alísios (Uvo, 1989; Ferreira e Melo, 2005; Mello, 2009).

A estação chuvosa, também nomeada como quadra chuvosa (Alves e Repelli, 1992) no nordeste do Brasil apresenta os maiores índices pluviométricos no primeiro semestre do ano, em algumas regiões destaca-se o período entre os meses de fevereiro a maio. Sendo os meses que a ZCIT se posiciona diretamente nesta região (Melo, 2000). Menciona-se que, mesmo com esse processo intensificado nesse intervalo de tempo, o período chuvoso nas regiões Norte (N) e Nordeste (NE) do Brasil é, em geral classificado como insatisfatório do ponto de vista hidrometeorológico (Hastensath e Heller, 1977 apud Melo, 2000).

Neste contexto, ressalta-se que se encontra na literatura que existem outros sistemas meteorológicos que interagem fisicamente com a ZCIT e contribuem para a qualidade da estação chuvosa e para a variabilidade climática observada na região, são esses, os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), as linhas de instabilidade e suas interações os Cavados e Vórtices Ciclônicos (Hastensath e Heller, 1977 apud Melo, 2000). Dessa forma, é possível destacar que as distintas associações entre os fenômenos meteorológicos definem a qualidade da quadra chuvosa na região semiárida brasileira, que pode ser classificada como normal, abaixo ou acima da média climatológica desta região.

Em relação a região metropolitana de Fortaleza/CE, encontra-se na literatura que se observa além dos sistemas meteorológicos de grande escala que influenciam o clima da região, citados acima, os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), que podem ser definidos como um agrupamento ordenado de nuvens, classificadas como cumulus (Silva et al., 2005).

Os autores supracitados classificam os SCM como fenômenos meteorológicos que ocorrem em escala de dimensões da ordem de um até cerca de centenas de quilômetros, com duração de uma hora a um dia. Em adição, mencionam que a formação destes advém da correlação entre os jatos de altos e baixos níveis observados na região e o período de maior ocorrência destes sistemas é a madrugada, provocando instabilidade térmica que leva à convecção intensa, e com isso, estão associados a elevados índices de precipitação na região.

Segundo Medeiros et al. (2020), cita que a classificação climática de Köppen, que é fundamentada nos índices de precipitação e na variação da temperatura do ar ao longo dos meses do ano, é um método bastante usado para se obter

a classificação climática em regiões brasileiras. Assim, segundo esta metodologia, e as informações sobre o comportamento das chuvas e da temperatura do ar, o clima da capital cearense é classificado como tipo AW', clima tropical quente e úmido, com chuvas de verão/outono e com inverno seco.

#### *Influência do uso e ocupação do solo no clima urbano*

Segundo Souza (2009), os compartimentos geoambientais são classificados e categorizados de acordo com as interrelações dos sistemas, como dimensões, características de origem e evolução, compreendendo esses elementos torna-se possível analisar as potencialidades e limitações da área, tornando possível uma avaliação da capacidade de suporte ao uso e ocupação do solo. Assim, também se encontra na literatura que o sistema natural é como uma estrutura própria, que se relaciona entre os fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos e pedológicos (Mamede, 2000).

Uma das ferramentas usadas para a investigação e compreensão desta estrutura e das interrelações mencionadas, em estudos meteorológicos e ambientais, é a técnica de sensoriamento remoto, método que integra o processamento de imagens digitais a fim de quantificar as alterações resultantes de ações antrópicas e naturais (Shimabukuro, 1998; Amaro et al., 2021; Oliveira et al., 2022). Assim, é possível determinar o índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que possibilita a detecção de mudanças de padrão de uso e cobertura do solo, e as discussões sobre a expansão das manchas urbanas nas cidades.

Para compreender a transformação do clima urbano em Fortaleza/CE é necessário refletir acerca da expansão do território do longo das décadas, na cidade que mantém a maior concentração populacional do Estado do Ceará. A área urbana que pertence ao município, inicialmente era uma aldeia secundária, e se manteve nessa configuração até o século XVIII (Santos et al., 2020; Santos e Bastos, 2022; Silva e Bezerra, 2023).

A configuração urbana sofreu alterações ao logo dos anos seguintes, e em particular entre os anos de 1980 e 1990, observou-se um crescimento exacerbado com ordenamento urbano inadequado. Assim, mais tarde a cidade tornou "vertical", impulsionada pelo crescimento populacional, e pelo desenvolvimento das tecnologias

direcionadas a construção civil, incentivadas pelo desempenho do mercado imobiliário, resultando em uma reestruturação em vários bairros que modificou e vem modificando a paisagem de um espaço que já foi caracterizado como de perfil “horizontal” (Fuck Junior, 2003).

Visando a ordenação dos espaços urbanos no município, em 2009 foi aprovado um plano diretor que tem como objetivo de atender às diretrizes de planejamento e controle do uso do solo, bem como o desenvolvimento da região, visando distribuir espacialmente a população e as atividades sociais e econômicas como forma de evitar distorções do crescimento da cidade. Dessa forma, estabeleceu-se um zoneamento urbano que distribui o território de município em duas macrozonas, uma de ocupação urbana e outra de ocupação ambiental (Souza, 2009).

Nesse contexto, menciona-se que para que seja possível compreender o clima desta zona urbana é preciso analisar as complexas relações que existem entre sítio urbano e as finalidades do uso deste espaço. Segundo Paz (2009), essas relações podem ser vinculadas ao uso e ocupação do solo associado a análise climática da área de estudo, uma vez que modificações no espaço urbano podem serem associadas às alterações no aquecimento e, conseqüentemente, na sensação térmica de uma determinada região, evidenciando a interação dualística entre o ser humano e o meio ambiente que vive.

Segundo Frota (1999), citado por Paz (2009), um agrupamento urbano não apresenta, necessariamente, as mesmas condições climáticas relativas ao macroclima regional no qual se insere, o tamanho e os setores dominantes das

atividades do núcleo urbano influenciam diretamente nestas alterações, em particular no aquecimento destas regiões, e se pode validá-las com a análise comparativa de um ponto específico com o clima do campo circunvizinho.

Dessa forma, é possível se observar as zonas climáticas locais, como por exemplo as Ilhas de Calor Urbanas (ICU), que segundo Alcoforado et al. (2006) citado por Brito-Coimbra (2021) são alterações induzida de forma antrópica por causas variadas, como por exemplo: poluição do ar, crescimento frota automobilística, arquitetura urbana, uso e ocupação do solo e expansão da estrutura vertical nas cidades.

As ICU são investigadas desde o início do século XX e provocam anomalia térmicas nas áreas próximas aos edifícios e as avenidas de maior circulação e impacto econômico nos bairros com maior densidade populacional das cidades, assim, encontra-se na literatura que são capazes de alterar o espaço urbano à medida que este evolui (Azevedo et al., 2015; Medeiros et al., 2020; Silva et al., 2022).

Para determinar uma ICU é necessário calcular a resultante das diferenças de temperatura da superfície das áreas estudadas, considerando a influência da sua região metropolitana, definindo um valor para sua variação de temperatura ( $\Delta T$ ). Para uma análise mais direta, os fatores são definidos por um padrão simples, conforme mostrado no quadro 1 a seguir (Barros e Lombardo, 2016). Para Fortaleza/CE, além de toda sua extensão territorial também se deve considerar os municípios que estão nos limites intermunicipais (Caucaia, Eusébio, Maracanaú, Aquiraz, Pacatuba e Itaitinga).

Quadro 1. Camadas da superfície terrestre. Fonte: Barros e Lombardo (2016)

|                         |                                                                                                                                 |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Camada limite superior  | Calor antropogênico proveniente dos telhados, aglomeração de telhas e chaminés;                                                 |
|                         | Calor percorrido da camada dossel;                                                                                              |
|                         | Calor excedente do ar pelo processo de convecção;                                                                               |
|                         | Fluxo de radiação de onda curta que converge com a poluição do ar;                                                              |
| Camada do dossel urbano | O calor antropogênico das construções;                                                                                          |
|                         | Alta absorção de ondas curtas pelas construções;                                                                                |
|                         | Decréscimo de fluxo de ondas longas perdidas;                                                                                   |
|                         | Alto armazenamento de calor pelos materiais de construção civil (armazenam calor durante o dia e o liberam no período noturno); |
|                         | Excesso de calor sensível pela diminuição do fluxo de calor latente;                                                            |
|                         | Convergência do calor sensível pela redução da velocidade do vento;                                                             |

Observa-se que na definição fatores que influenciam as áreas de ocorrência de ICU se encontra diversos mecanismos relacionados ao sistema cidade-atmosfera que são afetados pela urbanização, mas o balanço energético é consideravelmente afetado, assim, o fluxo de calor latente é o que apresenta a mudança mais abrupta uma vez que as áreas úmidas e produtoras de umidade são reduzidas em locais altamente urbanizados. Com a redução da circulação de calor latente, observa-se o calor sensível aumentar, resultando em um aquecimento no ar próximo a superfície. Ao abordar a temática é necessário considerar que a reflexão da radiação solar é um elemento potencial a constituição deste fenômeno (Serrato et al., 2002; Gedzelman et al., 2003; Silva e Muza, 2022).

Silva Filho (2004) citado por Locatelli (2017) apresenta uma relação entre população e vegetação, como grandezas inversamente proporcionais, menciona que qualquer alteração no ambiente causa um considerável impacto no ecossistema, principalmente quando se compreende a zona urbana. O autor baseia-se em estudos que abordam os impactos das emissões dos gases no clima urbano (Bradley, 1995) e no uso e ocupação do solo (Lombardo, 1985). Em adição, sugere a construção de parques, praças e/ou ambientes de lazer que proporcionem maior qualidade de vida para as zonas urbanas.

## Material e métodos

Visando compreender o nexos entre o uso e ocupação do solo e a influência antrópica no clima urbano propõe-se utilizar uma base clássica

de classificação pré-determinada e adicionar subdivisões, expressando as áreas de transições, buscando avaliar os fatores urbanos responsáveis pela determinação espacial e pela sobreposição de diferentes camadas de informações, construindo assim uma cartografia personalizada, conforme indicado em Barros e Lombardo (2016).

Em adição, no percurso metodológico também foi tomado como base as sugestões contidas em Tarifa e Azevedo (2001), que também influenciaram o trabalho publicado por Barros e Lombardo (2016). Estes autores utilizam mapas de uso e ocupação do solo e análise das variáveis meteorológicas, como a temperatura do ar na superfície, em discussões para compreender esta relação como influenciadora do clima urbano.

A região em estudo é o perímetro urbano da cidade de Fortaleza localizada na faixa central da zona litorânea do Estado do Ceará (Figura 1), com área territorial de aproximadamente 312.000 km<sup>2</sup>, topografia com poucas variações de altitude que variam entre 15 e 39 metros acima do nível do mar. É a quinta maior cidade do país, com população estimada de 2.703.391 pessoas em 2021 (IBGE, 2004) e com intensa influência turística que contribuiu ao longo dos anos para a expansão do desenvolvimento urbano (Petalas, 2002).

O clima da região é característico de regiões litorâneas, classificado como tipo AW' (classificação de Köppen), clima tropical quente e úmido com chuvas (em torno dos 1.200 mm/ano) concentradas no verão/outono e com inverno seco. A temperatura média do ar varia entre 24 °C e 31 °C ao longo do ano (EMBRAPA, 2022).

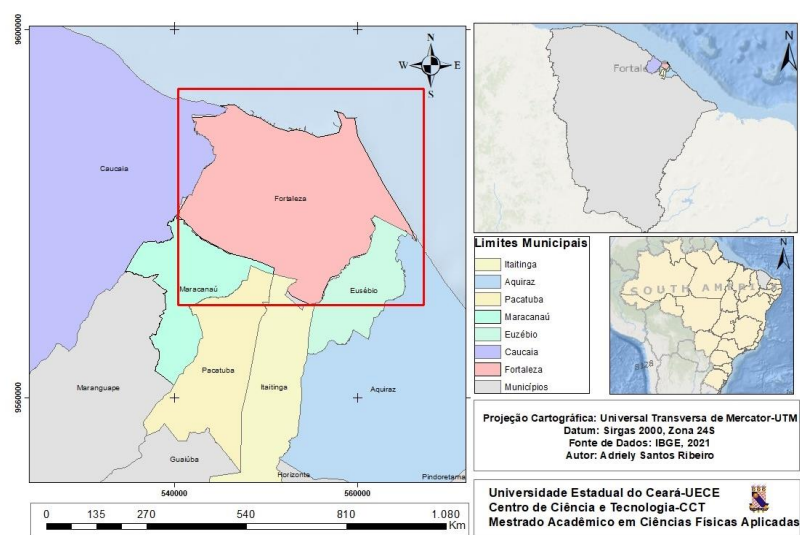


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Autores (2023).

### Construção dos mapas usados no estudo

Na construção dos mapas usados para as análises deste estudo usou-se as imagens geradas pelo satélite *Land Remote Sensing Satellite*, atualmente na versão Landsat 8, desenvolvido pela Agência Espacial Americana, denominado de *Landsat Data Continuity Mission*, que conta em operação com os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), além de novas bandas espectrais que são direcionadas para áreas costeiras e para a detecção de nuvens tipo cirrus e possui uma resolução temporal de dezesseis dias com deslocamento de oito dias.

Em adição, na construção dos mapas usou-se um Sistema de Informações Geográficas, do inglês *Geographic Information Systems* (GIS), o software ArcGis®, que segundo Davis Júnior (2001) citado por Chaplin (2004) melhora a representação dos dados geográficos, uma vez que somente demonstrações alfanuméricas não são capazes de expressar a riqueza de detalhes das áreas estudadas, ao se utilizar recursos de computação gráfica e o processamento digital das imagens tem-se não somente as características alfanuméricas, mas do mesmo modo sua localização e representação espacial.

Assim, construíram-se mapas do NDVI com o objetivo de quantificar a vegetação existente na região, através da diferença entre a radiação na faixa infravermelho próximo (que a vegetação reflete de forma intensa) e a luz vermelha (que absorve), usando o NIR e os canais RED. Esses valores variam de -1 a +1. Dessa forma, quando se obtém valores negativos é muito provável que seja água, já valores obtidos próximos de +1 tem grande possibilidade de que sejam folhas verdes mais densas, todavia quando os valores se aproximam de zero pode ser considerado área urbanizada.

Para a construção dos mapas de temperatura da superfície do município de Fortaleza/CE usou-se a Equação de Planck invertida. Considerando que os pixels individualmente não emitem radiação eletromagnética como um corpo negro (emissividade), que é o foco principal da equação citada, é preciso incluir a emissividade de cada pixel em seu domínio espectral da banda termal –  $\epsilon_{NB}$ , que é: 10,4 – 12,5  $\mu\text{m}$ .

Todavia ao considerar a radiação de onda longa que é emitida individualmente por cada pixel é ideal considerar a emissividade no domínio da banda  $\epsilon_o$  (5 – 100  $\mu\text{m}$ ). Há possibilidade de se obter as emissividades  $\epsilon_{NB}$  e  $\epsilon_o$ , para NDVI > 0 e Índice de Área Foliar – IAF < 3 (Barros e Lombardo, 2016).

A Temperatura da Superfície Terrestre – TST do ano de 1991 foi calculada a partir da banda 6 da imagem de landsat-5 (equação 2), fazendo-se necessário primeiramente ordenadas a conversão dos Números Digitais – DN, valor dos pixels para valores TST, utilizando a equação 1, que é uma equação base para a finalidade de detecção de temperatura e foi utilizada pela NASA, sendo atualmente uma referência para o mapeamento de ilhas de calor urbanas.

A Temperatura da Superfície Terrestre – TST do ano de 1991 foi calculada a partir da banda 6 da imagem de landsat-5 (equação 2), fazendo-se necessário primeiramente ordenadas a conversão dos Números Digitais – DN, valor dos pixels para valores TST, utilizando a equação 1, que é uma equação base para a finalidade de detecção de temperatura e foi utilizada pela NASA, sendo atualmente uma referência para o mapeamento de ilhas de calor urbanas.

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} \right) \cdot (Q_{CAL} - Q_{CALMIN}) + L_{MIN\lambda} \quad (1)$$

Em que,

$L_{\lambda}$  = Radiação de energia espectral

$L_{MIN\lambda}$  = 1.238 (Radiância espectral, valor do DN1)

$L_{MAX\lambda}$  = 15.308 (Radiância espectral de DN255)

$Q_{CALMAX}$  = 255

= 1

Uma vez que dado do espectro de radiação é conhecido, deve-se calcular o valor da  $L_{\lambda}$  para a TST utilizando a equação 2 para a conversão de radiação para o valor TST.

$$T_b = K_2 / \ln(K_1 L_{\lambda}) + 1 \quad (2)$$

Em que,

$T_b$  = Temperatura da superfície

$TST = T_b - 273,15$  (Conversão de Kelvin para Celsius)

$K_1$  = Constante de calibração (607,76)

$K_2$  = Constante de calibração (1260,56)

Para a construção do mapa de 2021 foi utilizada as imagens de Landsat 8, banda 10, que é a respectiva banda termal nesse modelo. Inicialmente foi calculado o valor da Radiância do Topo da Atmosfera (TOA), usando o fator de reescalonamento de radiância, os inúmeros digitais infravermelhos térmicos podem ser convertidos em radiância espectral TOA, através da equação 3:

$$L_\lambda = ML \cdot Q_{CAL} + AL \quad (3)$$

Em que,

$L_\lambda$  = Radiância espectral TOA

ML = Radiância da banda multiplicativa

AL = Radiância da banda adicional (banda 10)

$Q_{CAL}$  = Valores de pixel de produto padrão quantizados e calibrados (DN)

$Q_{CALMIN}$  = 1

A segunda etapa é verificar o TOA para a temperatura de brilho. Para que esses dados de radiância espectral sejam convertidos em temperatura de brilho, para que o cálculo seja viável, usa-se a equação 4, na qual é necessário acrescentar os valores de constante térmica no arquivo de metadados.

$$BT = \frac{K_2}{(\ln \frac{K_1}{L_\lambda + 1}) - 273,15} \quad (4)$$

Em que,

BT = Temperatura de brilho do topo da atmosfera (TOA)

$L_\lambda$  = Radiância espectral TOA

$K_1$  =  $K_1$  Constante da banda

$K_2$  =  $K_2$  Constante da banda

A terceira etapa consiste em calcular o NDVI através da equação 5, usando as bandas infravermelho próximo (banda 5) e vermelho (banda 4):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{NIR + RED} \quad (5)$$

Em que,

NDVI = Índice de Vegetação Normalizado

RED = Valores de DN para a banda 4

NIR = Valores de DN para a banda 5

Posteriormente foi calculada a emissividade da superfície terrestre (LSE) que é a emissividade média de um elemento da superfície da Terra calculada a partir de valores de NDVI, utilizando as equações 6 e 7:

$$PV = \left[ \frac{(NDVI - NDVI_{MIN})}{(NDVI_{MAX} + NDVI_{MIN})} \right]^2 \quad (6)$$

Em que,

PV = Proporção de vegetação

NDVI = Valores de DN da imagem

$NDVI_{MIN}$  = Valores mínimos de DN da imagem de NDVI

$NDVI_{MAX}$  = Valores máximos de DN da imagem de NDVI

$$E = 0,004 \cdot PV + 0,986 \quad (7)$$

Em que,

E = Emissividade da superfície

PV = Proporção da vegetação

E por último, foi calculada a temperatura da superfície terrestre que é a temperatura radiativa calculada a partir do brilho atmosférico, conforme equação 8, finalizando o processamento das imagens.

$$TST = \left( \frac{BT}{1} \right) + W \cdot \left( \frac{BT}{14380} \right) \cdot \ln e \quad (8)$$

Em que,

TST = Temperatura da superfície terrestre

BT = Temperatura de brilho no topo da atmosfera (°C)

W = Comprimento de onda da radiação emitida

E = Emissividade da superfície terrestre

Assim, com os dados de cada um dos mapas finalizados, foi realizada a classificação, dividindo em aproximadamente 13 classes com intervalos semelhantes de temperaturas e cores iguais para a análise das imagens.

Para a construção dos mapas de uso e ocupação do solo e planialtimetria, o município de Fortaleza/CE foi subdividido para que se possa obter uma escala maior, por consequência, mais detalhada. Foram obtidas informações referentes a

área estudada em o IBGE, na EMBRAPA e no IDESA (Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental) para a aplicação das técnicas de geoprocessamento, viabilizando a produção das informações cartográficas sobre a capital

cearense. Especificamente para o mapa de uso e ocupação do solo foram adotadas as subdivisões destacadas no quadro 2.

Quadro 2. Classe de uso e ocupação do solo mapeado no município de Fortaleza/CE.

| Classificação      | Definição                                                                          |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Corpo hídrico      | Área que apresenta água na superfície ou em seu subterrâneo.                       |
| Vegetação exposta  | Área composta por diferentes formações vegetais na superfície.                     |
| Vegetação inundada | Área com pequenas extensões e com pouca capacidade de drenagem de água.            |
| Área construída    | Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional, formando cidades.        |
| Terra nua          | Área que apresenta dunas e/ou faixa de praia, sem construção ou vegetação exposta. |
| Pastagem           | Área que apresenta dominância de espécies arbustivas e pioneiras arbóreas.         |

Fonte: Nascimento e Fernandes (2017).

## Resultados e discussão

As unidades geoambientais presentes no município de Fortaleza/CE estão destacadas na figura 2, assim se observa que a extensa parte do território da capital cearense predomina o tabuleiro pré-litorâneo e as demais unidades surgem em uma proporção menor como a depressão sertaneja, presente próximo aos limites dos municípios de Caucaia/CE e de Maracanaú/CE.

Em adição, observa-se a existência de uma planície fluvial adjacente aos bairros Barra do Ceará e Cocó, cercando a planície flúvio-marinha presente. Todo litoral leste é composto por planície de deflação cercado por porções de dunas móveis, que também se estende a toda faixa de praia do litoral norte, entre a planície flúvio-marinha e as dunas móveis presentes no litoral leste há uma pequena porção de dunas fixas, próxima a região do Cocó.

A relação entre as unidades geoambientais e o clima de uma cidade grande, como é o caso de Fortaleza/CE, é complexa, em razão da variação consoante entre a localização geográfica e suas respectivas características naturais. Contudo para compreender o clima de uma localidade é precípuo associá-lo a esses dados, para que assim haja um planejamento de qualidade para a população (Theeuwes, 2019).

Neste contexto, ressalta-se que dentre os

inúmeros aspectos que afetam o clima, o uso e ocupação do solo tem a capacidade de alterar a quantidade de radiação solar refletida e absorvida pela superfície terrestre, também afetando a evapotranspiração e a circulação atmosférica (Foley, 2005; IPCC, 2019).

Para o município de fortaleza/CE encontra-se a predominância de área construída (Figura 3), incluindo a faixa de praia e limites intermunicipais. A área de vegetação encontrada no município é composta por árvores, vegetação inundada e pastagem e está concentrada na área sul, noroeste e centro leste do município. Das áreas destacadas, a terra nua é a que compõe a menor percentagem de área exposta, presente somente no limite leste, com os municípios de Eusébio/CE e Aquiraz/CE. Em adição, é possível observar que as áreas construídas se condensam na parte norte e noroeste, todavia nas áreas Sul, Sudeste e Sudoeste existem vegetação associada a construções.

De acordo com Silva et al. (2023), a relação entre a gestão do uso e ocupação do solo e as variabilidades do clima ainda é pouco compreendida, mesmo se tendo-se ciência que o processo de desertificação influencia diretamente na manutenção da vida terrestre. Neste contexto, encontra-se em Siqueira et al. (2022) que o uso das geotecnologias pode auxiliar nesta tarefa,

auxiliando a estimar as taxas de perdas de vegetação e de urbanização ao longo do tempo.

Encontram-se também estudos que visam contribuir com o entendimento do nexos entre o uso e a ocupação do solo, as paisagens e as variabilidades climáticas, estudos que consideram os processos históricos, sociais, econômicos e ambientais, mediados no território como eixo central das políticas públicas (Santos et al., 2020; Santos e Bastos, 2022; Silva e Bezerra, 2023). Em adição, encontram-se estudos publicados que visando auxiliar na recuperação das áreas em

desertificação e no planejamento urbano, estudos que consideram a relação do uso e ocupação do solo com microclimas, nos quais resultaram na elaboração de mapas microclimáticos (Freitas et al., 2021; Silva Lima et al., 2022) que auxiliam, por exemplo, na determinação de avaliação dos impactos climáticos provenientes da urbanização nas cidades através do balanço de radiação solar atmosférica (Silva e Muza, 2022).

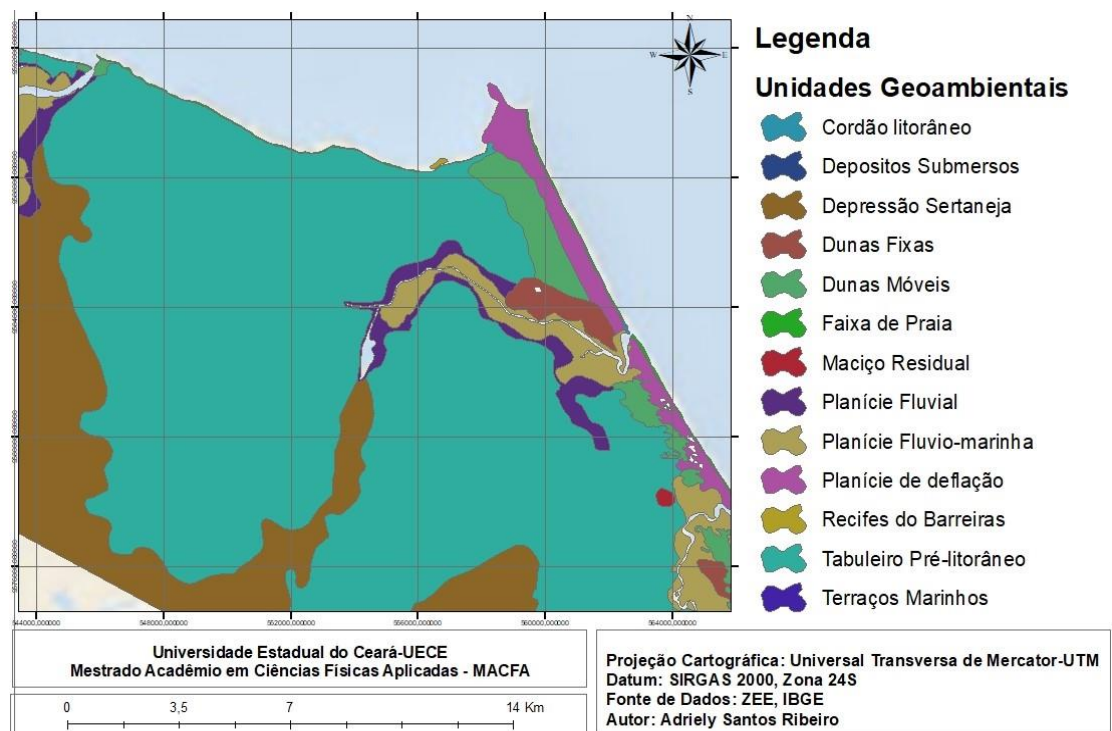


Figura 2. Mapa das unidades geoambientais de Fortaleza/CE. Fonte: Autores (2023).

Ao comparar as figuras 3 e 4 observa-se as alterações na paisagem local. A área construída mostrou-se com maior adensamento, no litoral leste que existia área construída, nem área vegetada com interferência antrópica sofreu uma demasiada ocupação em toda extensão dos bairros Cais do Porto, Vicente Pinzón e Praia do Futuro.

As áreas de gramíneas de maneira concisa desapareceram das partes centrais do município, conservando uma pequena porção próxima as regiões dos bairros da Barra do Ceará, Cocó, Praia do Futuro e limite com o município do Eusébio/CE. Basicamente toda área destacada como gramínea (Figura 3) tornou-se vegetação associada a construção.

Em contrapartida as áreas de vegetação densa se expandiram, precipuamente, no limite Sul com o município de Itaitinga/CE e Sudoeste com Caucaia/CE e Maracanaú/CE, bem como áreas pontuais ao longo do território. Essas modificações se configuram como severas, alto índice de ação antrópica, modificando a vegetação pretérita, relevo, hipsometria e resultando em alterações significativas no clima e temperatura local.

Resultados de estudos publicados na literatura também indicam o esforço realizados por pesquisadores para a compreensão desta relação, que vão desde o cálculo de índices de vulnerabilidade ambiental (Amaro et al., 2021;

Oliveira et al., 2022) que visam determinar a fragilidade ambiental de uma determinada área territorial ou de bacias hidrográficas (Moura et al., 2023), a criação de mapas temáticos de uso e ocupação do solo que auxiliam, por exemplo, na determinação da fragilidade desta gestão do uso e ocupação do solo em áreas de falésias (Da Silva, 2022; Câmara e Da Silva, 2021).

Para a análise do comparativo da cobertura vegetal ao longo dos anos foram gerados dois mapas (Figura 5 e 6) que classificam a vegetação originária do território fortalezense e a cobertura atual de acordo com IBGE, cujas legendas estão foram definidas e destacadas nos quadros 3 e 4.

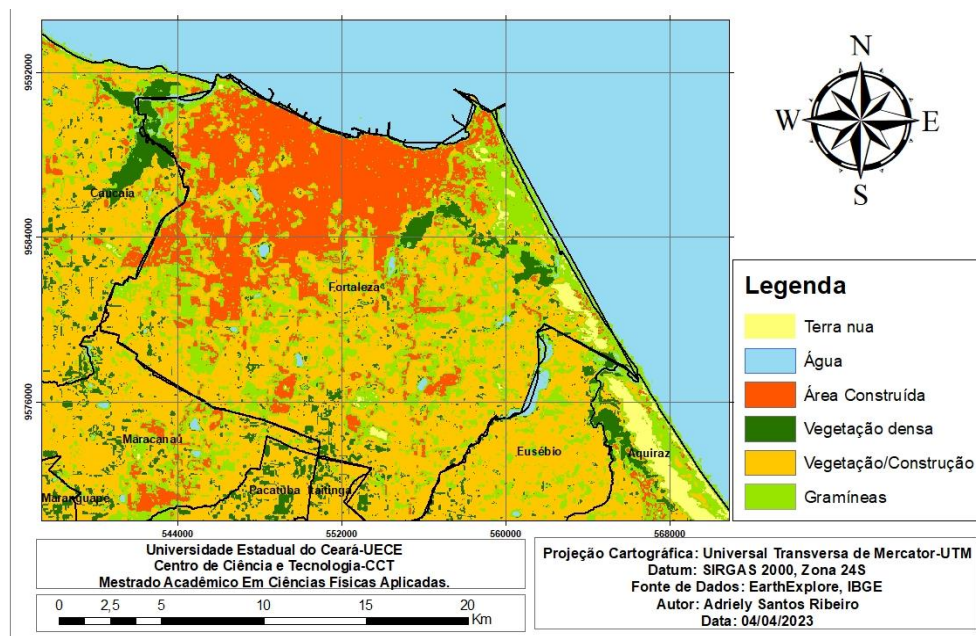


Figura 3. Uso e Ocupação dos Solos de 1991. Fonte: Autores (2023).

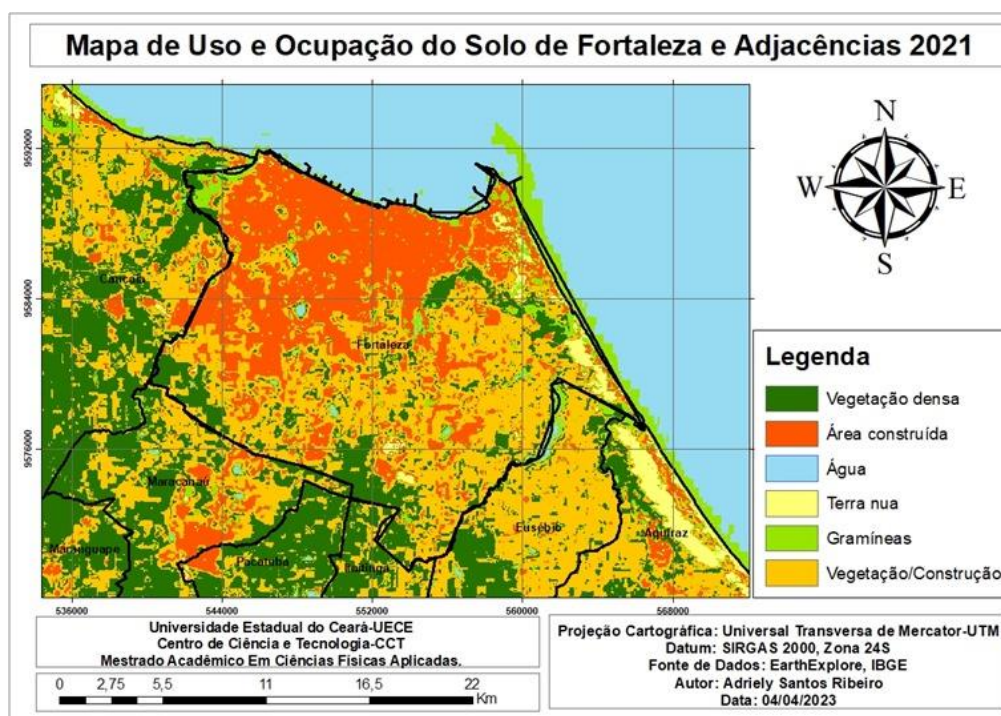


Figura 4. Uso e Ocupação dos Solos de 2021. Fonte: Autores (2023).

Quadro 3. Tipos de cobertura vegetal mapa de cobertura vegetal. Fonte: Autores (2023).

| Cores                                                                             | Tipos de cobertura vegetal                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|  | Massa d'água                                    |
|  | Vegetação natural dominante                     |
|  | Vegetação natural dominante em tensão ecológica |
|  | Área antrópica dominante                        |
|  | Área antrópica dominante em tensão ecológica    |

Quadro 4. Tipos de vegetação pretérita. Fonte: Autores (2023).

| Cores                                                                             | Tipos de vegetação pretérita                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|  | Classificação indisponível                    |
|  | Contato Floresta Estacional/Formação Pioneira |
|  | Contato Savana-Estépica/Floresta Ombrófila    |
|  | Contato Savana-Estépica/Formações Pioneiras   |
|  | Floresta Estacional Semidecidual              |
|  | Formação Pioneira                             |
|  | Savana-Estépica                               |

Observa-se que a hegemonia no território é de Savana-Estépica – Formações pioneiras que também se apresentam de forma isolada (Figura 5). A Savana-Estépica é uma vegetação típica do Nordeste brasileiro caracterizada por gramíneas, arbustos e árvores esparsas. Em razão de ser cobertura nativa é importante para a conservação de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. A presença de formações pioneiras pode ser representada por espécies caracterizadas como herbácea e arbustiva como a catingueira, xique-xique, mandacaru e similares com facilidade de adaptação e condições suficientes para sobrevivência em condições de estresse hídrico (Felfili et al., 2011; Silva, 2013).

Sendo a área complementada com pequenas porções que apresentam uma classificação indisponível, que poderia ser caracterizada como mangue e/ou espelhos d'água. Ao comparar com o tipo de cobertura vegetal presente nas últimas décadas presente (Figura 6)

observa-se que toda área de “contato Savana-Estépica pode ter sofrido algum tipo de intervenção antrópica, sendo caracterizada como área antrópica dominante em tensão ecológica. Este mapa indica que toda região destacada sofreu alterações advindas das atividades humanas.

A vegetação que se manteve natural foi a de classificação indisponível que seriam os mangues, referentes aos bairros do Cocó, Barra do Ceará e Sabiaguaba, que seria a Savana-estépica caracterizada de forma isolada (Figura 5 e 6) que havia antes dessa formação pioneira e tornou-se uma área de atividade antrópica dominante. O presente estudo indicou que extensa área da cobertura vegetal nativa foi perdida durante o processo de expansão urbana desde que, este iniciou, tornando a cobertura vegetal deficiente e as ações para a introdução de uma biodiversidade no município são precárias.

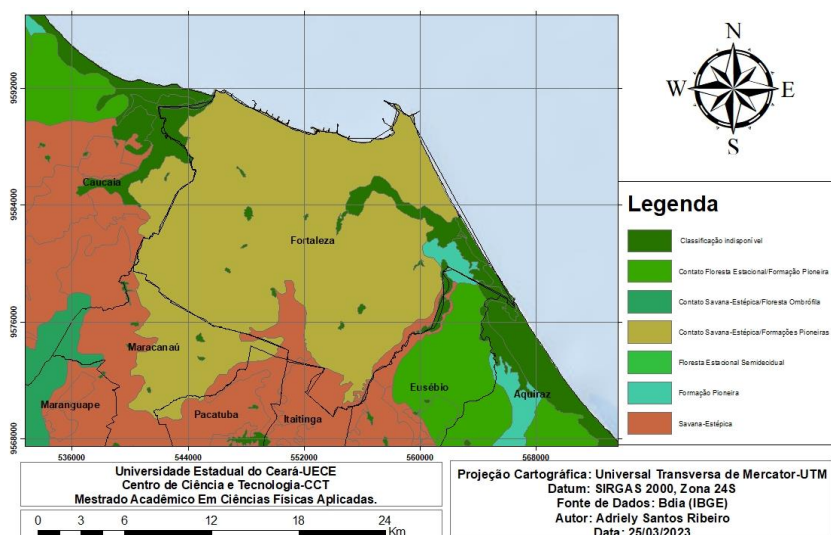


Figura 5. Vegetação pretérita de Fortaleza e Adjacências. Fonte: Autores (2023).

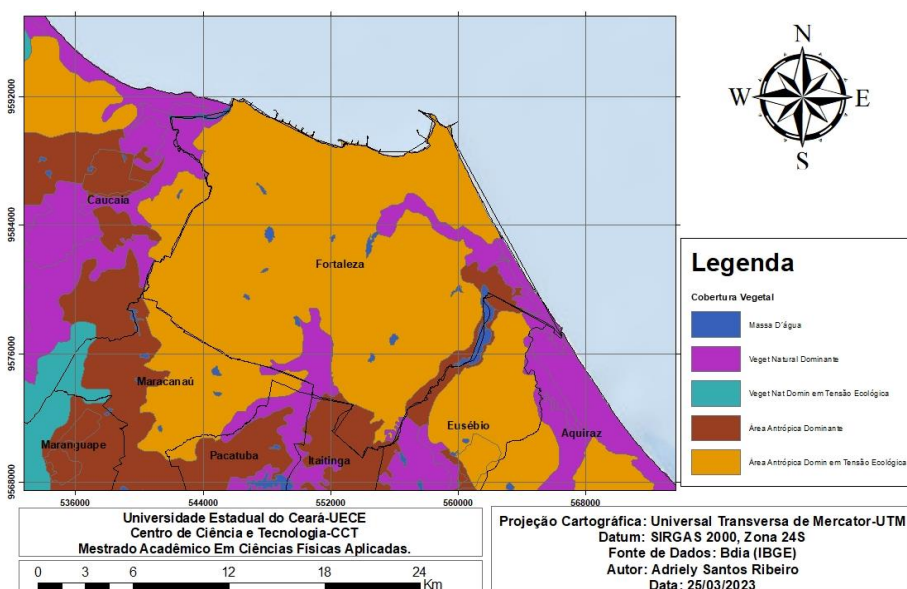


Figura 6. Tipo de Cobertura Vegetal de Fortaleza e Adjacências. Fonte: Autores (2023).

Os mapas de NDVI (Figura 7 e 8) são apresentados para os anos de 1991 e 2021. As áreas azuis representam a presença de espelhos d'água, as vermelhas são áreas sem vegetação e solos expostos, amarelo indica vegetação

arbustiva aberta, o verde claro vegetação moderada como pastagens e arbustiva fechada e o verde escuro representa vegetação mais densa arbustivo-arbórea, conforme quadro 5.

Quadro 5. Representa das cores nos mapas de NDVI.

| Cores | Índice de vegetação |
|-------|---------------------|
|       | -0,015              |
|       | 0,015 a 0,14        |
|       | 0,14 a 0,18         |
|       | 0,18 a 0,27         |
|       | 0,27 a 0,7          |

Fonte: Autores (2023).

Na capital cearense os valores de NDVI estão associados a extensas áreas impermeabilizadas. Observa-se que os espelhos d'água são representados através do NDVI de 0,015 (Figura 7). Os ambientes que apresentaram maior NDVI obtiveram os mesmos valores de temperatura, toda a parte sul, sudeste, sudoeste e centro-leste da área urbana apresentam temperatura variando de 20 °C a 22 °C, menores valores se comparadas à parte noroeste e nordeste próximas ao litoral, com variações que chegam a 5 °C.

O comparativo com o mapa referente ao ano de 2021, em que a zona urbana ocupou extensa parte do território, mostra que a temperatura apresenta um aumento considerável, os bairros com maior índice de vegetação obtiveram uma menor temperatura, basicamente no limite sudeste, leste e toda área próxima ao Parque Estadual do Cocó, parque natural de área urbana com uma extensa área de vegetação nativa.

Ressalta-se que passados 30 anos (1991 a 2021) a expansão urbana em no município foi considerável, ocupando grande parte da cidade. Os limites municipais com Maracanaú/CE e

Caucaia/CE foram extensamente ocupados por construções, a quantidade de área ocupada por vegetação arbustivo-arbóreo expandiu, diminuindo a quantidade de solo exposto próximos ao Parque do Cocó e a Praia do Futuro.

Grande parte da porção centro-leste foi urbanizada, mantendo-se somente o litoral leste da capital com pouca intervenção humana. Comparando-se as situações (1991 e 2021) observa-se um crescimento da área urbana na região sul, sudoeste e sudeste, concordando com Barboza et al. (2020). Assim, essas áreas com maior densidade de construção apresentam um NDVI mais baixo, resultado da falta de vegetação.

Em adição, observa-se que existe uma relação direta da presença da vegetação com a temperatura do ar da região em estudo. Dessa forma, quanto maior for a taxa de vegetação local, menor a temperatura registrada, mesmo em dias com ocorrências de altos índices de radiação solar. Outro aspecto importante nessa discussão é que os centros urbanos observados nos mapas apresentados possuem uma quantidade reduzida de área arborizada, como consequência disto apresentam regiões de ICU.

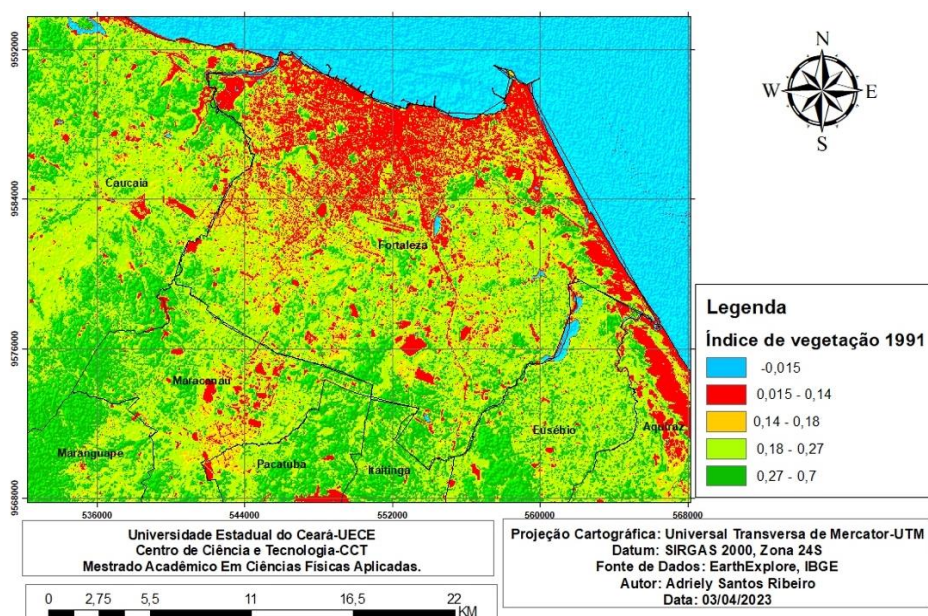


Figura 7. Índice de Vegetação NDVI (1991). Fonte: Autores (2023).

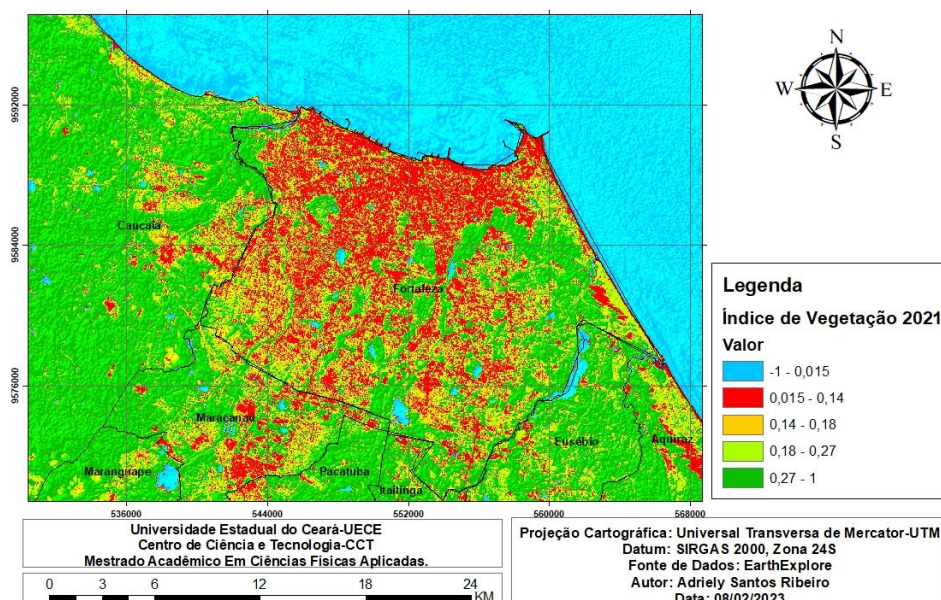


Figura 8. Índice de Vegetação NDVI (2021). Fonte: Autores (2023).

Para as análises da temperatura aparente da superfície em Fortaleza/CE foram estruturados dois mapas (Figura 9 e 10) com o intervalo de 30 anos (1991 e 2021) com subdivisões da temperatura em classes variando de acordo com a quadro 6.

Ressalta-se que, segundo os resultados de estudos publicados, que visam orientar e auxiliar os processos de recuperação das áreas degradadas ou em desertificação, bem como no planejamento

urbano, e que consideram a relação do uso e ocupação do solo como parâmetro influenciador de microclimas em áreas semelhantes a está em estudo, deve-se elaborar mapas climáticos ou microclimáticos para determinação e avaliação dos impactos climáticos provenientes da urbanização nas cidades através da análise de variáveis meteorológicas, tais como a temperatura do ar (Freitas et al., 2021; Silva Lima et al., 2022; Silva e Muza, 2022).

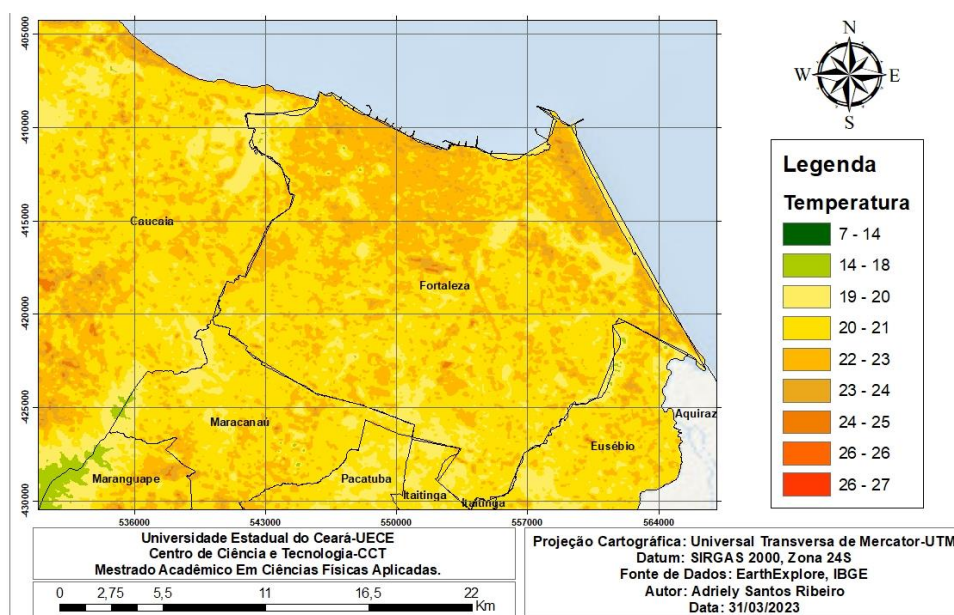


Figura 9. Temperatura aparente da superfície de Fortaleza/CE em 1991. Fonte: Autores (2023).

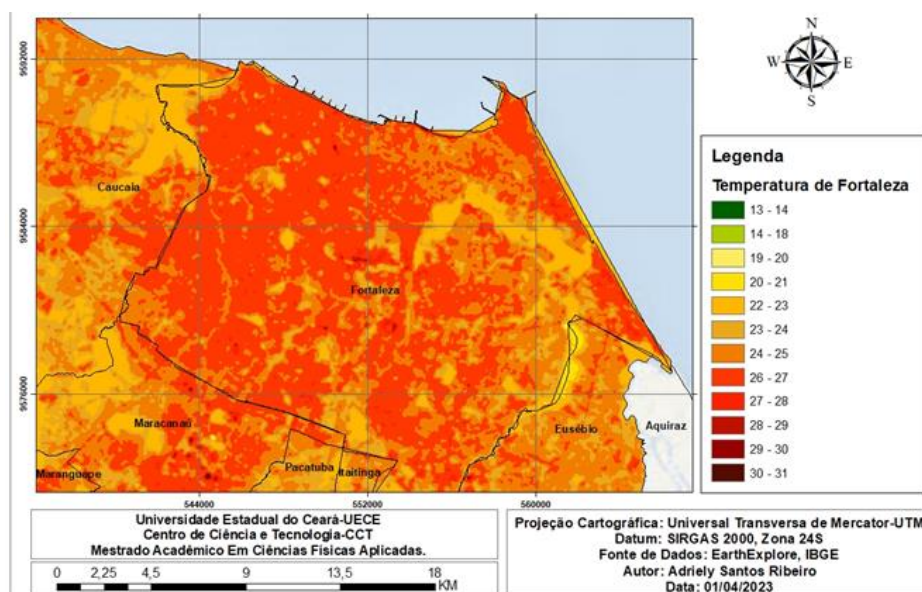


Figura 10. Temperatura aparente da superfície de Fortaleza/CE em 2021. Fonte: Autores (2023).

| Cores | °C (1991) | °C (2021) |
|-------|-----------|-----------|
|       | -68 – 14  | 11 – 15   |
|       | 15 – 17   | 15 – 17   |
|       | 18 – 18   | 17 – 18   |
|       | 19 – 20   | 19 – 20   |
|       | 20 – 21   | 20 – 21   |
|       | 21 – 22   | 21 – 22   |
|       | 22 – 23   | 22 – 23   |
|       | 24 – 25   | 24 – 25   |
|       | 26 – 27   | 25 – 26   |
|       | 27 – 27   | 27 – 28   |
|       | 28 – 28   | 28 – 29   |
|       | 29 – 31   | 29 – 30   |
|       | 32 – 57   | 30 – 31   |
|       | *         | 32 – 55   |

Quadro 6. Seleção de cores dos mapas de temperatura. Fonte: Autores (2023).

Observa-se em 1991 que as regiões que apresentam maior temperatura e a porção noroeste próximo ao Aeroporto, a Barra do Ceará, Centro da Cidade e no litoral nordeste da capital, nos bairros Cais do Porto, Vicente Pinzón e Praia do Futuro, com temperatura que varia de 22 °C a 23 °C, com valores superiores a 24 °C na região próxima ao Aeroporto, podendo ser caracterizada como início da formação de ilhas de calor.

As porções sul, sudeste e sudoeste, que são áreas menos habitadas no município, com maior taxa de vegetação e menor área construída, apresentam média de temperatura territorial variando de 20°C a 22°C. As áreas que apresentaram menor temperatura estão no bairro

Vila velha (limite com o município de Caucaia/CE), bairro Prefeito José Walter e Conjunto Palmeiras nos limites com o município de Maracanaú/CE e Itaitinga/CE, e os bairros da Lagoa Redonda e Sabiaguaba (limite com os municípios de Eusébio/CE e Aquiraz/CE), e no Parque do Cocó que apresenta valores inferiores a 20 °C.

Observa-se que a temperatura mínima da superfície foi 19 °C nas áreas de mangue, áreas de loteamento e espelhos d'água, e a temperatura máxima de 25°C, característica de zonas urbanizadas com maior concentração de edificações, impermeabilização, solos sem cobertura vegetal, resultando potencialmente no

aquecimento das superfícies urbanas, dando início ao processo de surgimento das ilhas de calor, conforme afirma Ugeda Júnior (2011) citado por Teixeira (2023).

Em adição, observa-se considerável aumento na temperatura no ano de 2021, quando comparada ao mapa que mostra a temperatura em 1991. Em 2021 a variação de temperatura é de 19 °C (mínima), em regiões nos limites municipais, e de 29 °C nas regiões de edificações, resultando em uma variação de temperatura de 10 °C.

Destaca-se que as regiões que apresentaram maiores valores de temperatura do ar foram as regiões próximas da Barra do Ceará e da Praia do Futuro, áreas que são altamente urbanizadas. As áreas que apresentaram menor temperatura são pequenos pontos no território nos bairros Vila Velha (limite com o município de Caucaia/CE), Conjunto Palmeiras (limite com Itaitinga/CE) e Lagoa Redonda (limite com o município do Eusébio) e algumas pequenas áreas espalhadas na parte oeste e leste da capital, que são áreas vegetadas em consonância com outros aspectos como pavimentos claros, telhados frios e espelhos d'água, que contribuem para a regulação da temperatura local, conforme mencionado em estudos publicados na literatura.

## Conclusões

O uso das geotecnologias se mostrou ferramenta substancial para as pesquisas e representações geográficas, em particular para o objeto deste estudo, o clima urbano. A utilização de geoprocessamento e dados cartográficos concedidos pelos órgãos governamentais (Earth Explore, EMBRAPA, IBGE, SIEG e INPE) tornou possível o mapeamento específico das características geoambientais das áreas de interesse (índices de vegetação, uso e cobertura do solo, entre outros), resultando em informações mais expressivas dos elementos constituintes do clima da região em estudo, corroboram com as indicações publicadas nos estudos de Romero (2000) citado por Martins (2012) e Alves e Silva (2022).

A investigação sobre a relação direta entre

a taxa de biomassa (NDVI) e a densidade construtiva, resultando em valores de temperatura de superfície que levam a formação de ilhas de calor urbano no município de Fortaleza/CE, mostrou áreas em que

foram identificados menores valores de NDVI e que apresentaram os maiores valores de temperatura, e assim, evidenciaram que a vegetação pretérita é demasiadamente relevante para o clima urbano.

O crescimento demográfico da cidade de Fortaleza/CE é historicamente desordenado, devido a fatos econômicos que interferem consideravelmente na densidade construtiva da capital, aumentando as áreas com intervenção antrópica e solos expostos, sem vegetação. Sendo nestas áreas, registrados os maiores valores de temperatura, em comparação com as regiões com as áreas vegetadas e com corpos aquáticos, que apresentam os menores valores de temperaturas e funcionam como reguladores ambientais.

Durante o intervalo de tempo analisado (1991 a 2021), observou-se um aumento da temperatura mínima obtida por essa metodologia de 19 °C para 20°C, todavia a diferença considerável está presente nas temperaturas médias predominantes e nas máximas. Assim, ressalta-se que no ano de 1991, a temperatura média predominante variou entre 21 °C e 23 °C, enquanto em 2021 esta variação foi de 25 °C a 27 °C, com máximas neste mesmo ano de 28°C, enquanto as máximas registradas em 1991 foram aproximadamente de 25° C. Resultados que reforçam as premissas de que a impermeabilização do solo e pelo aumento das construções interferem nas propriedades térmicas e radiativas da região.

Por fim, espera-se que estudos desta natureza possam contribuir para a tomada de decisão dos entes públicos sobre o planejamento urbano da capital cearense e de outras grandes cidades do nosso país, para proporcionar conforto térmico, qualidade e diversidade de vida nesses ambientes, tornando a cobertura vegetal um elemento relevante na paisagem urbana, considerando as suas importantes funções ecossistêmicas.

## Referências

Alves, J.M.B., Repelli, C.A., 1992. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul

(ENOS). Revista Brasileira de Meteorologia, 7, 583-592.

Amaro, V.E., Scudelari, A.C, Oliveira, D.Z., Lacerda, I.L.C., Matos, M.F.A., 2021. Análise de Índices de Vulnerabilidade Física com uso

- de Geotecnologias na Região da Barreira do Inferno/RN. Rev. Geociênc. Nordeste, [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID22034>. Acesso: 4 abr. 2023.
- Azevedo, P.V., Silva, B.B., Rodrigues, M.F.G., 1998. Previsão Estatística das Chuvas de Outono no Estado do Ceará. Revista Bras. de Meteor, 13, 19-301.
- Barboza, E.N., Neto, F.C.B., Caiana, C.R.A., 2020. Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. Research, Society and Development, [online], 9. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3731>. Acesso: 13 abr. 2023
- Barros, H.R., Lombardo, M.A., 2016. A ilha de Calor Urbana e o Uso e Cobertura do solo em São Paulo-SP. Geousp Espaço e Tempo, [online], Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.97783>. Acesso: 10 maio 2023.
- Bradley, G.A., 1995. Urban Forest Landscapes: integrating multidisciplinary perspectives. In: Bradley, G.A., 1995. Urban Forest Landscapes: integrating multidisciplinary perspectives, Seattle and London. Seattle: University of Washington Press, p. 03-11.
- Brito-Coimbra, Sara et al., 2021. Building façade retrofit with solar passive technologies: A literature review. Energies, [online], 14 Disponível: <https://doi.org/10.1002/joc.2237>. Acesso: 23 abr. 2023.
- Câmara, I.F., Da Silva, R.R., 2021. Mapeamento e Evolução da Ocupação Irregular em Falcões do Litoral Leste Cearense, Nordeste do Brasil. Geociências, [online], 40. Disponível: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i04.15670>. Acesso: 26 fev. 2023.
- Chaplin, Hannah; Davidova, Sophia; Gorton, Matthew., 2004. Agricultural adjustment and the diversification of farm households and corporate farms in Central Europe. Journal of rural studies, [online], 20. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0743-0167\(03\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0743-0167(03)00043-3). Acesso: 26 fev. 2023.
- Da Silva, J.L.B., Refati, D.C., Da Cunha, C.L.R.; De Carvalho, A.A., Ferreira, M.B., Pandorfi, H., Da Silva, M.V., 2022. Techniques of Geoprocessing via Cloud in Google Earth Engine Applied to Vegetation Cover and Land Use and Occupation in the Brazilian Semiarid Region. Geographies., [online], 2. Disponível: <https://doi.org/10.3390/geographies2040036>. Acesso: 10 mar. 2023.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2022. Clima. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- Felfili, J.M. et al., 2011. Fitossociologia de uma área de savana-estépica no município de Canindé, Ceará. Acta Botânica Brasílica, 25, 115-125.
- Ferreira, A.G., Da Silva Mello, N.G., 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. Revista brasileira de climatologia, [online], 1. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>. Acesso: 13 mar. 2023.
- Fiorese, C.H.U., 2021. Uso e ocupação das terras na sub-bacia hidrográfica do Córrego Fundaça, Espírito Santo, Brasil. Revista Agrogeoambiental, [online], 13. Disponível: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v13n120211544>. Acesso: 12 mar. 2023.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Helkowski, J.H., 2005. Global consequences of land use. science, [online], 309. Disponível: <https://doi.org/10.1126/science.1111177>. Acesso: 24 fev. 2023.
- Freitas, R.F.M., Azerêdo, J.F.F.A., Carvalho, L.T., Costa, R.F., 2021. Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, [online], 23. Disponível: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202108pt>. Acesso: 20 mar. 2023.
- Fuck Júnior, S.C. de F., 2003. As condições desiguais de acesso à moradia em Fortaleza, Brasil. Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales.
- Gallo, K., Xian, G., 2014. Application of Spatially Gridded Temperature and Land Cover Data Sets For Urban Heat Island Analysis. Urban Climate, [online], 8. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.04.005>. Acesso: 14 maio 2023.
- Gedzelman, S.D., Austin, S., Cermak, R., Stefano, N., Partridge, S., Quesenberry, S., Robison, D.A. Mesoscale aspects of the urban heat island around New York City. Theoretical and Applied Climatology, Wien, [online], 75. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0724-2>. Acesso: 14 abr. 2023.

- IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, 2019. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- Locatelli, Marcela Minatel et al., 2017. Planejamento de espaços verdes para minimização do escoamento superficial das águas pluviais. Revista LABVERDE, [online], 8. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v8i2p75-89>. Acesso: 20 maio 2023.
- Lombardo, M.A., 1985. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 244 p.
- Mamede, L., 2000. Geomorfologia: abordagem sistêmica em uma microbacia. Geografares, [online], 1. Disponível: <https://doi.org/10.7147/GEO1.1163>. Acesso: 12 jun. 2023.
- Martins, T.A. de L., Bittencourt, L.S., KRAUSE, C.M. de L.B., 2012. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. Ambiente Construído, [online], 12. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000200005>. Acesso: 23 jun. 2023
- Medeiros, R.M., Cavalcanti, E.P., De Medeiros, D.J.F., 2020. Classificação climática de köppen para o estado do Piauí-Brasil. Revista Equador, [online], 9. Disponível: <https://doi.org/10.26694/equador.v9i3.9845>. Acesso: 15 maio 2023.
- Mello, M.A.R. de, Martins, N., Neto, J.L.S., 2009. A influência dos materiais construtivos na produção do clima urbano. Revista Brasileira de Climatologia, [online], 5. Disponível: <https://doi.org/10.5380/abclima.v5i0.50473>. Acesso: 11 fev. 2023.
- Melo, A.B.C. et al., 2000. Estudo Climatológico da Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua Influência sobre o Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 2000, Rio de Janeiro. Anais [...], Rio de Janeiro: CBMET, p. 1142-1145.
- Monteiro, C.A.F., 1990. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. Geosul, 9, 61-79.
- Monteiro, C.A.F., 1976. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: Instituto de Geografia/USP.
- Moura, B.B., Bressan, L.M., Wojahn, V.S., Boeira, L.S., Terra, V.S.S., 2023. Análise da Fragilidade Ambiental em uma Sub-Bacia Hidrográfica na Metade Sul do Rio Grande do Sul com o uso de geoprocessamento. Revista Brasileira de Geografia Física, [online], 16. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2375-2389>. Acesso: 21 ago. 2023.
- Oliviera, J.L.M., Silva, J.B.L., Cerqueira Neto, S.P.G., 2022. Índice de vulnerabilidade ambiental do município de Eunápolis-BA. Revista de Geografia, [online], 39. Disponível: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2022.253646>. Acesso: 24 mar. 2023.
- Paz, L.H.F., 2009. A influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas-TO. Palmas: [s.n.].
- Perez, J.C., Sánchez, M.A.V., Barradas, V.L., 2001. Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de Mexico. Puebla: Red Nacional de Investigación Urbana.
- Santos, J.P.C., Honório, N.A., Barcellos, C., Nobre, A.A., 2020. A Perspective on Inhabited Urban Space: Land Use and Occupation, Heat Islands, and Precarious Urbanization as Determinants of Territorial Receptivity to Dengue in the City of Rio de Janeiro. Int. J. Environ. Res. Public Health, [online], 17. Disponível: <https://doi.org/10.3390/ijerph17186537>. Acesso: 13 jun. 2023.
- Santos, J.C.P., Bastos, E.J.B., 2022. Comparação Climática de São José dos Campos, Paraibuna e São Luiz do Paraitinga entre 1940-1970. Revista Univap, [online], 28. Disponível: <https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v28i58.2645>. Acesso: 13 fev. 2023.
- Serrato, F.B., Castillo, F.J.G., Garcia, R.G., Valcárcel, E.C., 2002. Radiación y temperatura em el período 1990-1999 en el campo experimental de “Elardal” Murcia: Studio preliminar. Papeles de Geografia, Barcelona, 35, 17-25.
- Shimabukuro, Y.E., 1998. Índice de Vegetação e Modelo Linear de Mistura Espectral no Monitoramento da região do Pantanal. [S.l.]: Pesquisa Agropecuária Brasileira.
- Silva, T.C., Bezerra, I.S., 2023. Percursos paisagísticos como estratégia para a manutenção dos elementos-chave da paisagem no município de Santa Maria (Rio Grande do Sul – Brasil). Revista Brasileira de Geografia Física, 16. 2464-2479.
- Silva, B.F., Rodrigues, R.Z.S., Heiskanen, J., Abera, T.A., Gasparetto, S.C., Biase, A.G., Ballester, M.V.R., Moura, Y.M., Piedade,

- S.M.S., Silva, A.K.O., Camargo, P.B., 2023. Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil, *Ecological Informatics*, [online], 77. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102192>. Acesso: 14 ago. 2023.
- Silva Lima, M.J., Da Silva, D.F., Melo, M.L.D., Cabral Júnior, J.B., 2022. Análise das Causas Climáticas sobre o Núcleo de Desertificação de Irauçuba-CE. *Geociências*, [online], 41. Disponível: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i04.16264>. Acesso: 21 jul 2023.
- Silva, D.K.C., Muza, M.N., 2022. Relação do Uso e Ocupação do Solo Diante do Clima Regional Presente e Futuro com Enfoque no Licenciamento Ambiental de Parcelamento do Solo nos Municípios Costeiros do Centro Norte de Santa Catarina. *Geociências*, [online], 41. Disponível: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i04.16511>. Acesso: 26 ago. 2023.
- Silva, B.B., Lopes, G.M., Azevedo, P.V., 2005. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20, 243-252.
- Silva, E.M. et al., 2022. A Relação entre a Climatologia e as Infrações Ambientais na área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité no Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [online], 37. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-77863710024>. Acesso: 25 abr. 2023.
- Silva, M.J.P., et al., 2013. Padrões florísticos de formações pioneiras sobre a restinga no litoral de Pernambuco, Brasil. *Rodriguésia*, 64, 503-515.
- Souza, J.F., Silva, R.M., Silva, A.M., 2016. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa-PB. *Ambiente Construído*, [online], 16. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100058>. Acesso: 28 maio 2023.
- Souza, M.J.N. et al., 2009. Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza: subsídios ao macrozoneamento ambiental e à revisão do Plano Diretor Participativo–PDPFor. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, p. 172.
- Tarifa, J.R., Azevedo, T.R., 2001. Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. São Paulo: Laboratório de Climatologia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 199p.
- Teixeira, D.C.F., AMORIM, M.C.C.T., 2023. O estudo da ilha de calor em cidade de pequeno porte: algumas contribuições. *Sociedade & Natureza*, [online], 30. Disponível: <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-9>. Acesso: 27 ago. 2023.
- Theeuwes, N.E., Steeneveld, G.J., 2019. The urban heat island in a small, temperate city: The added value of dense spatial monitoring. *Science of The Total Environment*, 647, 1030-1043.