



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
PATOS-PARAÍBA

LEONARDO JOSÉ SILVA DA COSTA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ARBORIZAÇÃO EM CIDADES DO
SEMIÁRIDO DA PARAÍBA**

PATOS/PB

2023

LEONARDO JOSÉ SILVA DA COSTA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ARBORIZAÇÃO EM CIDADES DO
SEMIÁRIDO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos-PB, na Área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Patrícia Carneiro Souto

PATOS/PB

2023

C837a Costa, Leonardo José Silva da.
Análise multitemporal da arborização em cidades do Semiárido da Paraíba / Leonardo José Silva da Costa. – Patos, 2023.
62 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2023.
"Orientação: Profa. Dra. Patrícia Carneiro Souto".
Referências.

1. Planejamento Urbano. 2. Sensoriamento Remoto da Vegetação Urbana. 3. Geotecnologia para Arborização. I. Souto, Patrícia Carneiro. II. Título.

CDU 711.4(043)

LEONARDO JOSÉ SILVA DA COSTA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ARBORIZAÇÃO EM CIDADES DO
SEMIÁRIDO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande/CSTR, como parte das exigências para a obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS.

Aprovada em: 13 de fevereiro de 2023.



Prof.^a Dr.^a Patrícia Carneiro Souto
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR)
(Orientadora)

Prof. Dr. Jacob Silva Souto
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR)
(1º Examinador)

Prof.^a Dr.^a Ane Cristine Fortes da Silva
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
(2º Examinador)

Dedico aos meus pais Daniel
Urtiga e Tereza Januária e a
minha irmã Jessyka Costa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar aos bons caminhos e me presentear com perseverança e fé para enfrentar todos os desafios. Dedico a Ele o meu amor!

Aos meus pais, Daniel Urtiga e Tereza Januária, que nunca mediram esforços para estender a mão e me guiar, apoiando toda e qualquer decisão. Amo vocês, obrigado por tanto!

À minha irmã Jessyka Costa, por todo o apoio, confiança e direcionamento na minha vida, você é e sempre será o meu espelho, minha outra metade. Te amo!

A toda minha família, obrigado por acreditar no meu potencial. Minha madrinha Lúcia Costa, que me ensinou a ler e valorizar a função do professor, tão importante. Aproveito para agradecer o carinho recebido por meu padrinho Eládio Adelino e minhas tias Luíza e Maria, por acreditar sempre no meu potencial, o meu muito obrigado. Estendo em nome destes a todos que fazem parte da minha família, sem o encorajamento de vocês jamais chegaria até aqui.

Às minhas orientadoras e mães científicas “pedritas”, que Deus me presenteou, muito obrigado por acreditar no potencial do “doidinho de pedras”. Sou extremamente grato a vocês, Jussara Silva e Patrícia Souto. Estendo aqui meus agradecimentos a todos os professores que fizeram parte da minha vida. Muito obrigado!

A todos os meus amigos, que até aqui nunca desacreditaram de mim, Barbara Marinho, Gustavo Dantas, Alisson Guimarães, Thayná Kelly, Josilanny Araújo e Michael Victor, pessoas que levarei no meu coração, amo muito vocês. E a todos os outros que, sem dúvida, tem um lugar especial no meu coração.

Por fim, mas não menos importante, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento da presente pesquisa, meus sinceros agradecimentos. Que Deus abençoe a todos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área em estudo.	28
Figura 2. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	30
Figura 3. Fluxograma da configuração do I-tree Canopy.....	34
Figura 4. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de Patos, Paraíba.....	36
Figura 5. Reflectância do NDVI no ano de 2021 para regiões com presença de água na cidade de Patos (A), comparada a composição colorida falsa cor (B).....	37
Figura 6. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de Quixaba, Paraíba.....	39
Figura 7. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de Santa Terezinha, Paraíba.	41
Figura 8. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de São José de Espinharas, Paraíba.	42
Figura 9. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de São José do Bonfim, Paraíba.	44
Figura 10. Porcentagem de cobertura vegetal associada a pluviosidade média anual para os anos de 2016 e 2021.	45
Figura 11. Classificação da cobertura da terra através do i-tree Canopy para o município de Patos, Paraíba, em 2022.....	47
Figura 12. Classificação da cobertura da terra através do i-tree Canopy para o município de Quixaba, Paraíba, em 2022.....	48
Figura 13. Classificação da cobertura da terra através do i-tree Canopy para o município de Santa Terezinha, Paraíba, em 2022.	49
Figura 14. Classificação da cobertura da terra através do i-tree Canopy para o município de São José de Espinharas, Paraíba, em 2022.	50
Figura 15. Classificação da cobertura da terra através do i-tree Canopy para o município de São José do Bonfim, em 2022.	51
Figura 16. Estimativas dos benefícios das árvores: quantidade de poluentes absorvidos em monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO ₂), ozônio (O ₃), material particulado (MP10 e MP2,5) e dióxido de enxofre (SO ₂).	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Municípios inseridos na pesquisa com sua respectiva área territorial e equivalente ao estudo (zona urbana).....	29
Tabela 2. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de Patos, Paraíba.....	38
Tabela 3. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de Quixaba, Paraíba.....	40
Tabela 4. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de Santa Terezinha, Paraíba....	42
Tabela 5. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de São José de Espinharas, Paraíba.	43
Tabela 6. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de São José do Bonfim, Paraíba.	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Variações da série SENTINEL e suas aplicações.	25
Quadro 2. Informações do satélite SENTINEL-2 (MSI).	26
Quadro 3. Especificações das imagens do satélite SENTINEL-2A.....	31
Quadro 4. Classes de uso e cobertura do solo da área urbana de acordo com a reflectância do NDVI.	33

LISTA DE SIGLAS

BOA	<i>Botton Of Atmosphere</i>
DN	Número Digital
ESA	Agência Espacial Europeia
EVI	Índice de Vegetação Melhorado
IAF	Índice de Área Foliar
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MSI	<i>Multispectral Image</i>
NDBI	Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada
NDVI	Índice de Vegetação por diferença Normalizada
NDWI	Índice de Água por diferença Normalizada
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
OSGeo	<i>Open Source Geospaial Foundation</i>
PDAU	Plano Diretor de Arborização Urbana
PDI	Processamento Digital de Imagem
QGIS	QuantumGIS
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado para o Efeito do Solo
SIG	Sistema Geográfico de Informação
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNAP	<i>Sentinel Application Platform</i>
SPRM	Serviço Geológico do Brasil
SR	Sensoriamento Remoto
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TOA	<i>Top Of Atmosphere</i>
TST	Temperatura de Superfície da Terra
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Árvores e o ambiente urbano.....	16
2.2 Arborização urbana no semiárido paraibano	19
2.3 Sensoriamento remoto	20
2.3.1 Geoprocessamento	22
2.3.2 Índices espectrais.....	23
2.3.3 Sensores orbitais.....	24
2.3 I-tree	26
2 METODOLOGIA.....	28
2.1 Caracterização da área em estudo.....	28
2.2 Procedimentos metodológicos	29
2.2.1 Aquisição das imagens do sensor.....	30
2.2.2 Pré-processamento	31
2.2.3 Processamento de imagens.....	32
2.3 I-tree canopy.....	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI.....	36
3.1 I-tree canopy.....	47
4 CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

COSTA, Leonardo José Silva. **Análise multitemporal da arborização em cidades do Semiárido da Paraíba**, 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). UFCG-CSTR, Patos-PB. 2023.

RESUMO

A infraestrutura verde faz parte de elementos essenciais presentes no ambiente urbano e demonstra-se como um dos principais componentes capazes de tornar as cidades cada vez mais inclusivas e sustentáveis, através dos benefícios por ela prestados, tais como melhoria da qualidade do ar, mitigação dos efeitos no clima e aumento da qualidade de vida dos munícipes. Portanto, o monitoramento da arborização no espaço-tempo permite fornecer modelos que podem auxiliar gestores municipais no planejamento das cidades, sobretudo, na perspectiva da arborização urbana. O objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças no componente arbóreo em cidades do sertão paraibano para os anos de 2016 e 2021, além de um diagnóstico da atual situação da arborização urbana por meio da utilização de imagens de satélite e aplicação de técnicas de geoprocessamento. O estudo foi realizado em cidades do semiárido paraibano, onde foram selecionados os perímetros urbanos dos municípios de Patos, Quixaba, Santa Terezinha, São José de Espinharas e São José do Bonfim. Foi realizado o *download* de imagens do satélite Sentinel-2A para os anos de 2016 e 2021, em seguida, realizou-se o pré-processamento destas para fins de correções atmosféricas, recorte do perímetro urbano delimitado pela pesquisa e reprojeção das imagens. Na fase de processamento das imagens, aplicou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI para os dois períodos analisados e seguiu-se com a composição colorida e reclassificação do índice para estimativas das classes de uso do solo com foco na vegetação. A segunda etapa consistiu em realizar a análise da atual situação da cobertura do solo através da ferramenta *i-tree*, onde foram atribuídos pontos aleatórios e estes avaliados e classificados conforme o seu tipo de cobertura. As estimativas realizadas indicaram que a cidade de Patos apresentou, entre o espaço-tempo de cinco anos, o maior percentual de mudança quanto ao uso e cobertura do solo voltado à vegetação quando comparada aos demais municípios avaliados, assim como constatou-se que a cidade de São José do Bonfim, de acordo com o relatório do *i-tree canopy*, é o município com maior percentual de verde urbano comparado aos demais. Portanto, conclui-se que o NDVI apresentou mudanças no uso e ocupação do solo entre o espaço-tempo de cinco anos para todos os municípios avaliados, em que a classe que representa o verde urbano aumentou em todas as cidades para o ano de 2021 comparada a 2016. De acordo com o relatório do *i-tree canopy*, São José do Bonfim apresentou os maiores percentuais de verde urbano e maiores remoções de poluentes atmosféricos. A plataforma *i-tree* demonstrou ser uma excelente ferramenta a ser utilizada por gestores municipais para estimar as quantidades de poluentes atmosféricos removidos anualmente em cada município.

Palavras-chave: Planejamento urbano. Sensoriamento remoto da vegetação urbana. Geotecnologia para arborização.

COSTA, Leonardo José Silva. **Multitemporal analysis of afforestation in cities in the semiarid region of Paraíba**, 2023. Master's (Dissertation in Forest Sciences). UFCG-CSTR, Patos-PB. 2023.

ABSTRACT

Green infrastructure is part of the essential elements present in the urban environment and is demonstrated as one of the main components capable of making cities more inclusive and sustainable, through the benefits provided by it, such as improving air quality, mitigating the effects on climate and increasing the quality of life of residents. Therefore, the monitoring of afforestation in space-time, allows to provide models that can assist municipal managers in planning cities, especially from the perspective of urban afforestation. The objective of this study was to evaluate the changes in the arboreal component in cities of the sertão of Paraíba for the years 2016 and 2021, as well as a diagnosis of the current situation of urban afforestation through the use of satellite images and the application of geoprocessing techniques. The study was conducted in cities of the semi-arid region of Paraíba, where the urban perimeter of the municipalities of Patos, Quixaba, Santa Terezinha, São José de Espinharas and São José do Bonfim were selected. Sentinel-2A satellite images for the years 2016 and 2021 were downloaded, and then pre-processed for atmospheric corrections, clipping of the urban perimeter delimited by the research and reprojection of the images. In the image processing phase, the Normalized Difference Vegetation Index-NDVI was applied for the two periods analyzed and followed with the color composition and reclassification of the index for estimates of land use classes focused on vegetation. The second step consisted in performing the analysis of the current land cover situation through the i-tree tool where random points were assigned and these were evaluated and classified according to their type of cover. The estimates made indicated that the city of Patos presented between the space-time of five years the highest percentage of change regarding the use and coverage of the land back to vegetation when compared to the other municipalities evaluated, and it was found that the city of São José do Bonfim according to the i-tree canopy report as the municipality with the highest percentage of urban green compared to the others. Therefore, it is concluded that the NDVI presented changes in land use and land cover between the space-time of five years for all municipalities evaluated, in which the class that represents the urban green increased in all cities for the year 2021 compared to 2016. According to the i-tree canopy report São José do Bonfim showed the highest percentages of urban greenery and highest removals of air pollutants. The i-tree platform proved to be an excellent tool to be used by municipal managers to estimate the amounts of air pollutants removed annually in each municipality.

Keywords: Urban planning. Remote sensing of urban vegetation. Geotechnology for afforestation.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se observado o panorama dos ambientes urbanos no contexto da problemática ambiental, sobretudo, para as mudanças no clima. As consequências das ações antrópicas diante do grande avanço da urbanização colocam em risco o desequilíbrio do ecossistema, o que reflete em impactos adversos em toda esfera global. Segundo Teixeira *et al.* (2021), a gestão urbana das cidades de clima semiárido configura-se, ainda, com uma baixa capacidade de adaptação climática, capaz de agir sobre a perspectiva da redução dos impactos ao meio diante de um futuro sustentável.

As cidades inseridas na delimitação da região semiárida tendem a ser mais afetadas pelas condições impostas, frente as mudanças no clima global, sobretudo, quanto aos aspectos da arborização. A arborização está ligada ao conjunto de espécies vegetais, em sua maioria de porte arbóreo, que faz parte de um meio natural associada aos ambientes urbanos, também conhecidos por florestas urbanas. A infraestrutura dessas áreas possui diversos elementos que contribuem de forma essencial para a comunidade, desde serviços básicos como saneamento, distribuição de energia e a própria arborização que se encontra associada à redução da poluição sonora e/ou visual, dentre outros benefícios (MAZZAROTTO, 2020).

Turner-Skoff & Cavender (2019) destacam os diversos benefícios das árvores nos espaços urbanos para a saúde e bem-estar-social, desenvolvimento cognitivo e educacional, economia e recursos para a comunidade, mitigação das mudanças climáticas e manutenção dos habitats naturais e a infraestrutura verde, trazendo consigo suas relações com os correspondentes Objetivos do Desenvolvimento Sustentável-ODS, propostos pela Organização das Nações Unidas-ONU, visando garantir a superação de desafios na esfera ambiental, política e econômica.

Sobre essa perspectiva, a agenda 2030 busca tornar as cidades e comunidades sustentáveis em seu objetivo 11 e tem contribuído bastante com o processo de urbanização, impulsionando a mudança desse cenário rumo a sustentabilidade, mediante a dificuldade em criar estímulos para a manutenção e/ou inserção de novos espaços verdes na zona urbana (ONU, 2021).

Os ambientes urbanos encontram-se em constante modificação e a manutenção das paisagens verdes pode, segundo Zhang & Ramírez (2019), ser monitoradas e analisadas juntamente com técnicas de sensoriamento remoto. A abordagem quanto ao monitoramento da

arborização é um dos grandes desafios para os pequenos e grandes centros, onde há muito tempo é compreendida a necessidade da utilização de imagens aéreas com o objetivo de auxiliar a busca por informações voltadas ao planejamento urbano.

Sob essa óptica, com o avanço dos sensores remotos capazes de obter informações quanto a radiação eletromagnética que se propaga pelo espaço a partir de um alvo na superfície terrestre, hoje é possível aplicar técnicas capazes de estimar a vegetação em diferentes ambientes, onde as geotecnologias surgem como uma ferramenta potencial para garantir o fornecimento de informações acerca de diversas áreas, inclusive para o planejamento de uso e ocupação do solo nos municípios (BAPTISTA, 2021; MENESES & ALMEIDA, 2012).

Deste modo, o uso dos produtos orbitais por meio do geoprocessamento permite impulsionar o desenvolvimento de pesquisas, principalmente na região nordeste, sobretudo, na compreensão e interpretação de informações acerca da cobertura do solo. Espera-se, com esta pesquisa, fornecer embasamentos técnicos para a produção de modelos matemáticos que possam auxiliar aos gestores em planos de arborização, baseado no crescimento urbano dos municípios estudados, sendo importante para as cidades e a sociedade, pois é a partir de eventos passados que se pode criar a previsão futura de possíveis problemas socioambientais.

Portanto, o presente trabalho avaliou as mudanças no componente arbóreo em cidades do sertão paraibano para os anos de 2016 e 2021, além de um diagnóstico da atual situação da arborização urbana por meio da utilização de imagens de satélite e aplicação de técnicas de geoprocessamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Árvores e o ambiente urbano

O acelerado processo de expansão urbana garante o crescimento socioeconômico e apresenta potencialidades para superar os desafios do desenvolvimento sustentável. No entanto, a ausência do planejamento estratégico, principalmente sobre a perspectiva ambiental, que vem sofrendo um desequilíbrio diante a supressão de áreas com presença de vegetação, está criando condições adversas à manutenção dos serviços ecossistêmicos e dos benefícios prestados em diferentes escalas (BRELSFORD *et al*, 2017; LIMA, LOPES & FAÇANHA, 2019).

Os maiores problemas ambientais causados por meio do processo de expansão urbana estão relacionados ao uso desordenado dos solos, que causam a exposição destes em ambientes diversos. Além de sua ocupação em locais impróprios que, por sua vez, implicam na alteração da camada superficial deste, mediante a retirada da vegetação e subsequente processo de impermeabilização, suprimindo as áreas de vegetação natural (LEITE, PINHEIRO & PAMBOUKIAN, 2019). Esses aspectos ambientais são responsáveis pelo transbordamento dos canais de drenagem de águas pluviais, em função do aumento da vazão, provocada por chuvas intensas, deslizamentos, além dos fenômenos relacionados às mudanças temporais no clima que afetam os grandes centros.

A arborização urbana ou florestas urbanas referem-se ao conjunto de quaisquer elementos vegetais presentes nos pequenos e grandes centros, que há muito tempo contribuem com a sobrevivência da comunidade (SILVA *et al.*, 2017). Segundo Sabadini Junior (2017), as preocupações quanto aos problemas ambientais por parte da sociedade têm ganhado força nos últimos anos, o que influencia diretamente a necessidade do planejamento urbano das cidades, voltados ao desenvolvimento de planos, projetos e programas de arborização urbana, visto a sua contribuição nesses espaços.

Os ambientes urbanos são caracterizados pelo conjunto de atividades humanas e a presença de casas, edifícios, indústrias em uma determinada área que juntos possibilitam a manutenção da sociedade em geral (IBGE, 2017). Esses ambientes estão em constante modificação mediante o crescimento populacional. A busca por ocupação dos espaços livres é ainda maior e a ausência de um planejamento urbano quanto a distribuição das áreas verdes torna-se cada vez mais frequente, contudo, os custos com a manutenção da infraestrutura urbana

podem ser elevados quando não se tem um planejamento urbano eficiente, além dos grandes impactos que comprometem esses ecossistemas urbanos (CORTE *et al.*, 2012; PINHEIRO & SOUZA, 2017).

O ambiente urbano, no ponto de vista da arborização, é dividido em dois espaços: as áreas verdes (praças, jardins ou margens de corpos hídricos) e as vias públicas. As árvores presentes nas vias públicas estão diretamente ligadas à população por estarem mais próximas das residências, onde geralmente concorrem pelo espaço das calçadas e, muitas vezes, podem apresentar consequências que variam, desde problemas com danos estruturais, como risco de queda sobre estruturas prediais, até o contato com a rede elétrica, causando prejuízos na distribuição de energia. Isso ocorre por falta de planejamento e/ou conscientização da sociedade (VIGNOLA JUNIOR, 2015).

As diversas atividades exercidas nestes ambientes alteram as condições do meio, de modo a elevar as temperaturas médias locais, aumentar os níveis de poluentes atmosféricos (material particulado, monóxido de carbono, dióxido de carbono, etc.), causar alterações na biodiversidade, através do desmatamento no processo de expansão urbana, entre outros fatores que venham a provocar alterações no componente biótico das cidades (BONAMETTI, 2020).

A arborização urbana desempenha um importante papel na manutenção dos serviços ecossistêmicos, contribuindo com o controle da poluição do ar, conforto socioambiental, alteração da radiação solar direta absorvida pela superfície do solo, dentre outros imensuráveis benefícios, seja para a sociedade ou para a transformação positiva do ambiente natural (JATOBÁ; LINS & SILVA, 2020). Ossola *et al.* (2021), em sua pesquisa, provaram que pequenos fragmentos de vegetação urbana podem fornecer a mitigação de calor substancial nos espaços habitados em até 6 °C durante o dia, demonstrando a importância da arborização nos espaços urbanos para a diminuição da temperatura local e, conseqüentemente, na redução do consumo dos recursos energéticos.

Além desses, diversos outros benefícios diretos e indiretos são discutidos em estudos de silvicultura urbana quanto a presença de árvores para a manutenção do equilíbrio ambiental, devido às suas funções no aspecto social do ponto de vista paisagístico e econômico, voltados aos atrativos turísticos e ambiental no que diz respeito ao equilíbrio ecológico (RAMOS; NUNES & SANTOS, 2019).

Portanto, a quantidade de áreas verdes em uma cidade é relativamente proporcional a sadia qualidade de vida dos seus habitantes, ou seja, os índices de áreas verdes quando elevados

podem contribuir positivamente para benefícios à saúde e bem-estar da população, proporcionando o desenvolvimento social, estimulando a prática de atividades recreativas e, conseqüentemente, a redução de problemas psicossociais (MARQUES & SILVA, 2016; TYBUSH; MATTOS & BRONZATTI, 2017).

Para todo município com população superior a 20 mil habitantes é obrigatório a aprovação de um plano diretor de uma cidade, onde nele estabelece as exigências legais quanto ao uso e ocupação do solo, bem como subsídios para a gestão e desenvolvimento urbano, garantindo o bem-estar da população (BRASIL, 1988). De acordo com Sales *et al.* (2021), todo plano diretor, para que seja completo, é essencial que ele contemple o Plano Diretor de Arborização Urbana-PDAU das cidades, uma vez que nele esclareça à sociedade critérios de referência quanto as espécies a serem introduzidas nos ambientes, técnicas de podas, entre outros, pois ter um banco de dados sobre as espécies, principalmente, pode evitar problemas quanto a profundidade das raízes ou, até mesmo, o afugentamento da fauna local.

A legislação brasileira, no que diz respeito à arborização urbana, é muito carente, pois, mesmo com tanta preocupação ambiental, não existem leis federais que disponham diretamente sobre o tema. Contudo, de forma indireta, algumas leis tratam sobre a proteção e/ou preservação desses ecossistemas urbanos, como é o caso da Constituição Federal de 1988, porém, voltada ao uso e ocupação do solo. Em nível estadual, apenas seis estados possuem legislações relacionadas diretamente com a proteção e/ou elaboração de planos de arborização, sendo a Paraíba um deles, com a Lei nº 7.182/2002, que dispõe sobre a arborização de prédios em construção (NESPOLO, *et al.*, 2020; PARAÍBA, 2002).

Mediante a carência de legislações ambientais com enfoque na arborização das cidades, os municípios ficam a depender de dados que contribuam com esses projetos. A elaboração de um Plano Municipal de Arborização Urbana é uma ferramenta essencial para o primeiro passo quanto ao planejamento dessas áreas urbanas e, neste plano, etapas importantes como um apanhado histórico e o diagnóstico da arborização do município se faz de grande importância para identificar áreas prioritárias de manutenção/inserção de espaços verdes na zona urbana (PARANÁ, 2018).

Considerando as áreas verdes no perímetro urbano um importante instrumento para a gestão das cidades e comunidades sustentáveis, alguns estudos, como o de Arruda *et al.* (2013), utilizam índices de áreas verdes nestes espaços de 15 m² por habitante, visto a grande importância ambiental, econômica e social da arborização urbana, entretanto, ainda existe uma

discussão acerca de um padrão de qualidade ambiental ideal que represente essa quantidade de metro quadrado por habitante, não havendo conclusões oficiais.

2.2 Arborização urbana no semiárido paraibano

A região semiárida é delimitada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE e compreende uma área de 1.128.697 km², com 1.262 municípios e cerca de 28 milhões de pessoas, caracterizada por condições climáticas onde o índice pluviométrico é inferior a 800 mm/ano, o índice de aridez $\leq 0,5$ e o percentual de déficit hídrico $\geq 0,6$ em todos os dias do ano. A região semiárida apresenta uma grande variedade na paisagem, com relevo plano a ondulado e uma grande diversidade nas classes de solos (BRASIL, 2018).

A vegetação predominante nesta região é a Caatinga, composta por espécies arbóreas e arbustivas, com características marcantes quanto a sua resistência as condições climáticas, além da diversidade de espécies endêmicas da região. Contudo, devido a transformações nos componentes bióticos e abióticos e o manejo insustentável desta área, a condição de degradação ambiental é cada vez mais preocupante, ameaçando a biodiversidade desse ecossistema (PAZ *et al.*, 2020).

A região semiárida apresenta alta incidência da radiação solar, o que eleva os níveis de evapotranspiração potencial, fazendo com que a pouca água, que é absorvida pelas plantas ou através da superfície do solo, seja transferida de volta para a atmosfera em um curto período. Assim, na ausência de árvores, a pluviosidade passa a influenciar na capacidade de armazenamento de água no solo, onde as moléculas de água podem ser armazenadas por pouco tempo, minutos ou dias. Entretanto, na presença de árvores esse tempo de resistência pode durar semanas ou até meses, possibilitando uma maior utilização deste recurso tão escasso na região (BUCKERIDGE, 2015).

Quando se fala de arborização urbana, é importante que esteja claro que não seja apenas plantar árvores. Para isso, um elemento essencial é a escolha da espécie arbórea a ser introduzida em um determinado ecossistema, pois cada espécie desenvolve características adaptativas ao ambiente natural na qual está sendo inserida (MUNIZ *et al.*, 2020). Nas cidades do semiárido paraibano a arborização está intrinsecamente relacionada com a cultura dos moradores e de como a administração pública aborda essa temática com a sociedade (CAMAÑO *et al.*, 2015).

Em um estudo realizado nas áreas verdes de uma cidade do interior da Paraíba por Delfino *et al.* (2021), apresentaram em seu levantamento do componente arbóreo a predominância da espécie *Azadirachta indica*, conhecida popularmente como Nim, nativa das regiões áridas da Ásia e África. Na cidade de Patos, Paraíba, não é diferente, ocorre também a predominância de espécies exóticas nos espaços urbanos (LUCENA *et al.*, 2015).

Segundo Lucena *et al.* (2015), um levantamento florístico realizado em canteiros centrais (áreas verdes) identificou a predominância de espécies exóticas representando 71,4% das espécies presentes na área em estudo, destacando-se a *Azadirachta indica* e *Prosopis juliflora*, espécie bastante usual, tanto em praças e jardins quanto nas vias urbanas e, por ser uma espécie exótica, existe uma grande preocupação quanto ao desequilíbrio na biodiversidade natural do ecossistema.

As espécies exóticas nem sempre ameaçam o ecossistema urbano. Existem algumas que não apresentam potencial de se tornar invasoras e que são adaptadas à Caatinga, como é o caso do Pau-Brasil (*Paubrasilia echinata*) e Jambuí (*Syzygium malaccense*), indicadas como exóticas não invasoras no manual de arborização urbana da cidade de Fortaleza – CE (MUNIZ *et al.*, 2020). Contudo, é de extrema importância e necessidade o uso de espécies nativas da caatinga, mediante a grande pressão sobre esse tipo de vegetação no ambiente urbano. Ademais, a introdução de espécies nativas é essencial para fins, não apenas de diversificação de nossas espécies, mas também para sua adaptação às condições climáticas e resistência aos fatores patogênicos, possibilitando uma maior valorização deste patrimônio biológico natural de importância imensurável (EMBRAPA, 2012).

2.3 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é uma técnica que consiste em identificar, por meio de imagens, o comportamento dos materiais terrestres, sem que haja qualquer contato físico entre a matéria e o sensor, só sendo possível através da radiação eletromagnética. A espectrorradiometria permite realizar uma análise dos espectros quantificando as trocas de energia entre os sensores e os objetos, antes e depois da interação com estes, a partir da refletância, absorvância e transmitância, medida através da intensidade de energia incidente de uma matéria (MENESES; ALMEIDA & BAPTISTA, 2019).

O balanço energético da Terra considera as trocas de energia radioativa que ocorrem entre a superfície e a atmosfera, através dos fluxos de calor sensível e latente e o fluxo de calor no solo. Portanto, a quantidade de energia pode variar em virtude da energia emitida (radiação solar) e absorvida por cada objeto presente na superfície (CERQUEIRA, 2012).

A captação de imagens da superfície terrestre ocorre por meio da técnica de sensoriamento remoto, realizada por diversos satélites em órbita da Terra, onde o sensor identifica um alvo (superfície) e registra informações a respeito deste através da energia emitida, absorvida ou transmitida. Essa energia transmitida por cada elemento da superfície terrestre é mediante ao seu coeficiente de reflexão em virtude da energia solar absorvida, o que possibilita a emissão de diferentes frequências eletromagnéticas sobre cada componente da superfície, necessário para a identificação dos ambientes e possível transformação no tempo (PAULA, 2016).

O sensoriamento remoto sofre interferências constantes da atmosfera, influenciando na qualidade das imagens, no cuidado com o manuseio destas e, conseqüentemente, nos dados obtidos, isso porque diversos componentes estão presentes entre o sensor e o alvo, como nuvens, material particulado ou gases. O comportamento espacial das áreas urbanas é ainda mais delicado, pois trata-se de ambientes muito alterados com inúmeros detalhes, onde ocorrem a identificação de vários elementos da superfície, tais como asfalto, telhados, arborização urbana, espelhos d'água, solo exposto, entre outros, o que pode confundir o *software* e, conseqüentemente, o operador, levando a uma premissa falsa (FREITAS; BASSO & FERRI, 2015).

Portanto, a utilização de imagens de satélites no geoprocessamento fornece subsídios para estudos em suas diversas aplicações, através do sensoriamento remoto que, por sua vez, possibilita a captação dessas informações através dos sensores eletromagnéticos que absorvem a energia refletida por cada elemento presente na superfície da terra, gerando um banco de dados que ficam disponíveis em plataformas como a do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, no Brasil ou Serviço *United States Geological Survey-USGS EarthExplorer*, por meio de diversas séries de satélites lançados no espaço em órbita ao redor da Terra por um determinado período de tempo (STEFFEN, 2016).

2.3.1 Geoprocessamento

O geoprocessamento é uma ferramenta utilizada hoje em diversos estudos, mediante a sua imensa área de aplicação e abrangência. O processamento de imagens envolve uma série de dados alfanuméricos que, a partir de programas computacionais, possibilitam a associação entre o real e o novo olhar sobre esta representação espacial. Capaz de envolver em um único ambiente a cartografia, fotogrametria, geodésia entre as diversas outras áreas de aplicação, o geoprocessamento utiliza de Sistema Geográfico de Informação-SIG e do Sensoriamento Remoto-SR para que esses dados, após processados, possam fornecer respostas a estudos, principalmente voltados a área ambiental (MOURA, 2014).

Um dos *softwares* bastante conhecidos e utilizados mundialmente no geoprocessamento de imagens é o QuantumGIS-QGIS, considerado uma ferramenta profissional que possui código aberto e formado por uma equipe de voluntários. O projeto QGIS pertence a *Open Source Geospatial Foundation-OSGeo*, capaz de em um só aplicativo criar, editar, visualizar, analisar e publicar informações geoespaciais acerca de um determinado estudo (IBGE, 2018).

As geotecnologias, grande área que envolve o geoprocessamento a partir da coleta de dados referentes ao Sensoriamento Remoto e SIGs, são utilizadas, principalmente, para estudos que dizem respeito às questões ambientais, pois essas tecnologias permitem a representação de uma pequena ou grande área da superfície terrestre, de modo que, a partir dela, seja possível extrair informações sobre os recursos naturais e as transformações dos ambientes urbanos que auxiliam na fiscalização e monitoramento do uso e ocupação do solo, sobretudo, nas áreas de proteção ambiental que são de difícil acesso (ANJOS, 2018).

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil-CPRM (JACQUES, 2020), o processamento de técnicas matemáticas e computacionais a partir de dados georreferenciados (geoprocessamento) envolve seis componentes básicos para sua execução, que são: o uso de um bom *software*, capaz de realizar os procedimentos no qual se quer aplicar por meio de equipamentos (*hardwares*); acesso à internet, para a busca por dados referenciados e a execução de um procedimento metodológico que pode variar de cada estudo ou aplicação. Tudo isso só é possível por meio de um operador que realize todos esses procedimentos computacionais.

O processamento de dados alfanuméricos possibilita a utilização de imagens de satélite para estudos voltados aos fenômenos ambientais (previsão do tempo, desmatamento ou incêndios florestais), estudos em ambientes naturais (ambientes áridos, florestas e mangues) e

para os ambientes transformados, que podem ser os ambientes rurais, em um determinado corpo hídrico ou paisagens urbanas. Os primeiros Sistemas Geográficos de Informações-SIGs surgiram com um olhar sobre o meio urbano, voltado para a modelagem e planejamento desses espaços (ZAIDAN, 2017).

Os ambientes transformados, sejam urbanos, rurais ou recursos hídricos, sofrem alterações ao longo do tempo mediante aos fenômenos naturais ou em virtude da ação antrópica que, na maioria das vezes, é um fator agravante. A utilização de imagens de satélites possibilita identificar essas alterações que ocorreram ao longo de um determinado período, através da comparação de diferentes imagens em épocas distintas de um mesmo ambiente, ou seja, por meio da classificação do uso e ocupação dos solos. Estudos nessa perspectiva viabiliza, mediante uma análise multitemporal, a identificação dos possíveis fenômenos e as alterações ocorridas naquele espaço estudado (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

2.3.2 Índices espectrais

Nos estudos que envolvem as geotecnologias aplicadas ao sensoriamento remoto é comum observar o uso de índices espectrais como forma de identificar a qualidade ambiental de uma determinada região. Esses índices são resultados de operações algébricas que envolvem as imagens de satélites e respondem a um algoritmo específico, possibilitando indicar, mediante a um valor, a qualidade ambiental de um determinado local. Os índices espectrais mais utilizados em estudos ambientais são: Índice de Água por Diferença Normalizada-NDWI, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI, Índice de Área Foliar-IAF, o Índice de Vegetação Melhorado-EVI e o Índice de Vegetação Ajustado para o efeito do Solo-SAVI e o Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada-NDBI (GAMEIRO *et al.*, 2016; LIMA *et al.* 2019; BEZERRA *et al.*, 2020.).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI é o mais utilizado nos estudos de caracterização da cobertura vegetal, demonstrando-se eficiente e preciso para grandes áreas de ambientes urbanos. Além deste, o SAVI responde bem a estudos voltados a cobertura vegetal, principalmente na região Semiárida onde a vegetação apresenta características de mata branca (vegetação da caatinga) e mais espaçada, portanto, este índice é capaz de minimizar os efeitos de fatores externos (solos), tornando-se mais adequado para a região semiárida (VANI; MANDLA, 2017; LUNGUINHO, 2018; BARROS; FARIAS & MARINHO, 2020).

Silveira, Lima & Oliveira (2020) buscando identificar ferramentas para avaliação da vegetação urbana, propôs em seu estudo uma outra técnica que se destaca nesse meio, a geração de mapas temais que possibilitam a identificação das áreas urbanas com déficits de vegetação. Borges *et al.* (2018) dividiram a área urbana da cidade de Patos em setores e realizaram uma análise geoespacial voltada para a arborização urbana, aplicando técnicas de geração de mapas Kernel, que possibilita a classificação temal dos setores da cidade estudada, visto que a arborização urbana altera a temperatura média local dos ambientes. Mediante ao estudo, identificou-se uma heterogeneidade entre a distribuição dos indivíduos arbóreos nos setores da cidade, onde o setor central, que sofre grande influência da ação antrópica diariamente, apresentou a menor quantidade de árvores. Estudos como esses são essenciais para os pequenos e grandes centros urbanos, pois viabilizam o planejamento das áreas prioritárias da cidade.

2.3.3 Sensores orbitais

Os sistemas que compõem os sensores responsáveis por receber as informações da superfície através do coeficiente de reflectância (energia emitida, absorvida ou transmitida) são classificados em dois tipos: sensores ativos, que emitem uma radiação eletromagnética artificial em direção ao seu alvo, onde os mais usuais são os radares e os lasers; e os sensores passivos que, para captar qualquer tipo de informação, necessitam de energia externa, a mais comum é utilização da radiação solar. São diversos os sensores hoje utilizados no geoprocessamento de imagens, no qual os sistemas orbitais/satélites são os mais frequentes, devido a seu fácil acesso e alguns de baixo custo (BRASIL, 2017).

Hodiernamente, existem diversos satélites em órbita da Terra, destacando-se os principais: a série de satélite Landsat (atualmente está em seu nono lançamento), que atuam com sensores Operational Land Imager-OLI e Thermal Infrared Sensor-TIRS; o Spot, que possui a capacidade de detectar faixas do visível ao infravermelho com resolução espacial variando de 1,5 a 20 m; além de satélites como os de alta resolução espacial: Ikonos, QuickBird, GeoEye, WorldView, que possuem uma maior restrição quanto ao seu acesso. Geralmente, as suas imagens são comercializadas por grandes empresas, devido a sua alta resolução espacial que pode variar entre 41 cm a 4 m (QUARTAROLI; VICENTE & ARAUJO, 2014).

Outrossim, a série de satélites SENTINEL é também uma das principais responsáveis pelo monitoramento das mudanças na superfície da Terra, conhecidas, também, por Missão

Sentinel, que teve início após o lançamento do SENTINEL-1A em 2014. A Agência Espacial Européia-ESA busca desenvolver o monitoramento contínuo da superfície terrestre voltadas aos recursos naturais, porém, apesar da ESA estar em seu sétimo satélite lançado em 2017, cada um é voltado para um tipo de monitoramento específico, como demonstra o Quadro 1 (EMBRAPA, 2018).

Quadro 1. Variações da série SENTINEL e suas aplicações.

SATÉLITE	APLICAÇÃO
SENTINEL-1A e 1B	Monitoramento terrestre e oceânico
SENTINEL-2A e 2 B	Monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras
SENTINEL-3A e 3B	Monitoramento marinho
SENTINEL-4 e 5P	Monitoramento da qualidade do ar

Fonte: Adaptado EMBRAPA (2018).

Os satélites Sentinel 2A e 2B foram lançados em 2015 e 2017, respectivamente, e permanece ativo até hoje, operando com a tecnologia do sensor *Multispectral Image-MSI*, onde o período para a realização da varredura da superfície terrestre é de cinco dias, buscando cumprir o monitoramento aplicado a cobertura vegetal, aos solos e em áreas costeiras. Conforme o Quadro 2, o MSI possui a capacidade de resolução espacial de 10 m, 20 m e 60 m, distribuídos em suas 12 bandas espectrais, com resolução espectral variando entre 443 nm a 2.190 nm, que operam na busca incansável de dados utilizados na agricultura, educação e, principalmente, no mapeamento dos recursos naturais (RIOJA, 2017).

Quadro 2. Informações do satélite SENTINEL-2 (MSI).

Bandas	Resolução espacial	Resolução espectral
Banda 1 (aerossol)	60	443
Banda 2 (azul)	10	490
Banda 3 (verde)	10	560
Banda 4 (vermelho)	10	665
Banda 5 (NIR)	20	705
Banda 6 (NIR)	20	740
Banda 7 (NIR)	20	783
Banda 8 (NIR)	10	842
Banda 8A (NIR)	20	865
Banda 9 (vapor de água)	60	9945
Banda 10 (Cirrus)	60	1375
Banda 11 (SWIR)	20	1610
Banda 12 (SWIR)	20	2190

Fonte: RIOJA (2017).

2.3 I-tree

A plataforma *i-Tree* é uma ferramenta *online* criada em parceria público-privada entre o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e cooperativas do país. De forma gratuita, esta permite estimar os benefícios das árvores e os seus serviços prestados ao ecossistema na qual está inserida. Em sua base de dados, o *i-Tree* oferece algumas opções que permitem compreender e quantificar os benefícios que as árvores oferecem para cada espaço estudado (NOWAK, 2021).

Algumas ferramentas do *i-Tree* são específicas para o desenvolvimento de projetos voltados ao plantio de árvores, além da possibilidade em compartilhar um banco de dados mundial acerca de novas espécies na arborização com sua devida localização, que permitem avaliar árvores de forma individual, como também a cobertura de superfície (copa das árvores) (NOWAK, 2021).

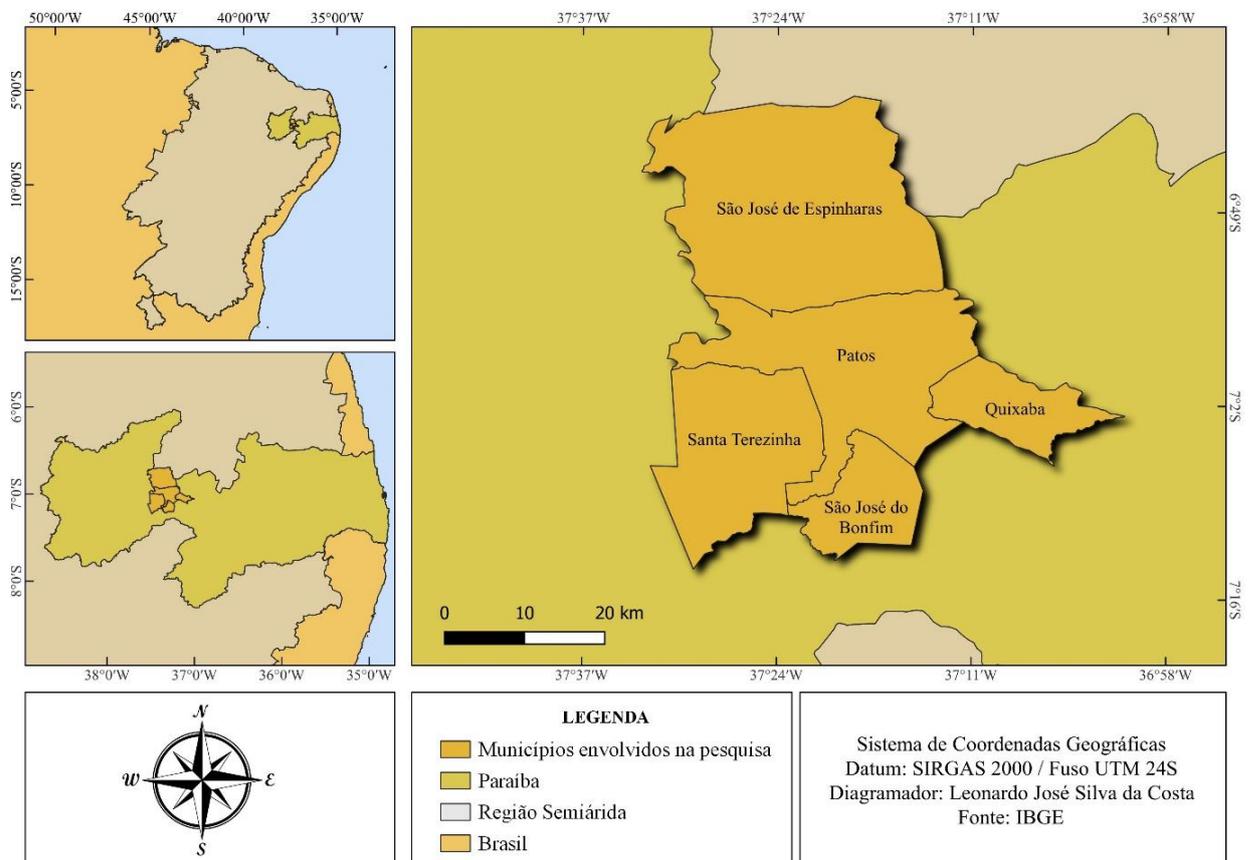
Sob esse prisma, o *i-Tree Canopy* é uma das ferramentas que possibilita estimar a cobertura do solo e classificar o seu uso, onde após esta análise a plataforma é capaz de gerar um relatório de estimativa da cobertura arbórea e seus benefícios quanto ao sequestro anual de carbono da atmosfera e demais poluentes (CO, NO₂, O₃, SO₂ e material particulado a 2,5μ e 10μ). A estimativa da cobertura da área estudada é realizada através de uma amostragem simples de pontos aleatórios, através de identificação visual em uma área específica mediante o uso de imagens do *Google Earth* (I-TREE, 2006).

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área em estudo

A pesquisa foi desenvolvida na Região Geográfica Intermediária e Imediata de Patos, envolvendo as cidades de Patos, São José de Espinharas, Santa Terezinha, São José do Bonfim e Quixaba. Todas estas encontram-se inseridas na região semiárida da Paraíba (Figura 1) (IBGE, 2017).

Figura 1. Mapa de localização da área em estudo.



Fonte: COSTA (2023).

A escolha da área em estudo busca representar o Sertão Paraibano quanto aos dados de uso e ocupação do solo, sobretudo, aos espaços urbanos, detalhando os aspectos ambientais destes e voltados para a vegetação urbana. A presente pesquisa abrange um total de cinco

municípios com área equivalente à 1.859,89 km², entretanto, a área avaliada corresponde ao perímetro urbano de cada um destes (Tabela 1).

Tabela 1. Municípios inseridos na pesquisa com sua respectiva área territorial e equivalente ao estudo (zona urbana).

Município	Área territorial (km ²)	Área Urbana (ha)
Patos	472,90	3859,00
Quixaba	147,16	60,92
Santa Terezinha	359,44	107,41
São José de Espinharas	726,76	79,97
São José do Bonfim	153,63	96,24
Área Total	1859,89	4203,54

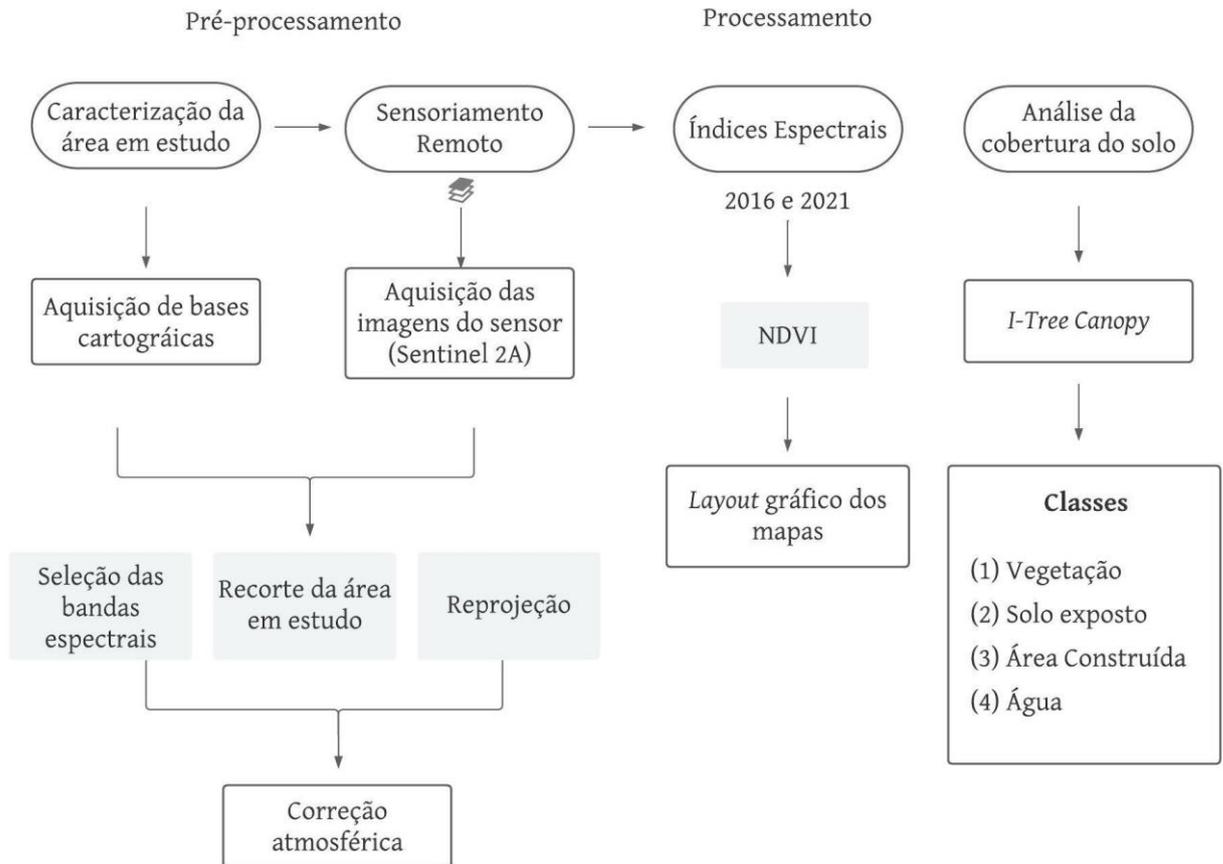
Fonte: COSTA (2023).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSh, com precipitação abaixo da evapotranspiração potencial e características de estação seca no inverno e chuvosa no verão (FRANCISCO *et al.*, 2015).

2.2 Procedimentos metodológicos

Para avaliar as alterações no uso e ocupação do solo, foi realizada uma análise multitemporal de imagens de satélite dos municípios inseridos nesta pesquisa, a fim de conhecer a área estudada diagnosticando-se o comportamento espectral destes ambientes e delimitando os diferentes usos dos solos com foco para a cobertura de verde urbano. A análise teve início através do Processamento Digital de Imagens-PDI, composto por várias etapas, de acordo com o fluxograma (Figura 2), sendo: aquisição das imagens de satélite, pré-processamento, processamento, pós-processamento e interpretação dos resultados.

Figura 2. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: COSTA (2023).

2.2.1 Aquisição das imagens do sensor

O *download* das imagens de satélite foi realizado por intermédio da plataforma do *United States Geological Survey-USGS*, disponíveis gratuitamente em <https://earthexplorer.usgs.gov/>, provenientes da série do sensor *MultiSpectral Instrument-MSI SENTINEL-2^a*, processados pela organização intergovernamental Agência Espacial Europeia-ESA. Para contemplar o espaço-tempo estudado de 2016-2021, foram necessários o *download* de duas imagens, sendo referente ao ano de 2016 e 2021, respectivamente, conforme especificações resumidas no Quadro 3. Os critérios aplicados ao conjunto de dados para a escolha das imagens nos períodos pré-estabelecidos restringiram a cobertura de nuvens entre a faixa de 0% a 10%.

Quadro 3. Especificações das imagens do satélite SENTINEL-2A.

DADOS SENTINEL-2A		
Data da imagem	28/10/2016	22/09/2021
Cena	T24MXT	T24MXT
Número de órbita	52	52
Tipo de produto	S2MSI1C	S2MSI1C
Nível de processamento	Nível-1C	Nível-1C
Projeção e DATUM	UTM WGS84	UTM WGS84
Zona	24S	24S

Fonte: COSTA (2023).

2.2.2 Pré-processamento

Adquiridas as imagens digitais, realizou-se o pré-processamento composto por correção radiométrica/atmosférica e correção geométrica, se necessário, que busca reduzir possíveis erros instrumentais não perceptíveis ao usuário, como interferência atmosférica e distorção da visada não vertical do sensor, refinando a estrutura geométrica e espectral dos dados.

Para correção dos efeitos atmosféricos, utilizou-se como base o modelo matemático de transferência radiativa, *libRadtran1*, que possui várias aplicações para nuvens, partículas líquidas ou sólidas dispersas na atmosfera terrestre e gases traços. A biblioteca de transferência radiativa é composta por diversas funções voltadas a radiação solar e termal, disponível gratuitamente (EMDE *et al.*, 2016).

Na presente pesquisa, a conversão de Número Digital-DN, produto base das imagens, no que se refere a correlação da energia emitida pela superfície e observada pelo sensor no *Top Of Atmosphere*-TOA para reflectância na base da atmosfera *Bottom Of Atmosphere*-BOA (L1C para L2A), ocorreu diante do uso do *plugin Sen2Cor* a partir do *software Sentinel Application Platform-SNAP*, desenvolvido pela Agência Espacial Europeia-ESA, conservando a resolução espacial das bandas originais 10 m, 20 m e 60 m, com exceção da banda 11, que foi reamostrada para a resolução espacial de 10 m.

As imagens com nível de processamento L1C já possuem correção geométrica, portanto, após os procedimentos de pré-processamento supracitados foi necessário apenas a sua reprojeção do DATUM WGS84 Zona 24S para o Sistema de Referência Geocêntrico para as

Américas-SIRGAS 2000 Zona 24S, onde se seguiu com o mosaico das imagens e o recorte da área em estudo, a fim de otimizar o processamento nas próximas etapas.

A partir desta, foi utilizado o *software* QGIS, em sua versão LTR de longa duração 3.2 sendo a mais estável sem falhas no processamento. A escolha deste se deu por ser um *software* livre de código aberto que permitiu desenvolver todas as fases de visualização, edição e análise dos dados buscados neste estudo.

2.2.3 Processamento de imagens

O processamento de imagem digital requer a aplicação de operações matemáticas com o intuito de melhorar a qualidade destas para a sua interpretação, ajustado a cada aplicabilidade. Em ambientes urbanos, as cenas apresentam altas frequências, devido as mudanças de padrões físicos. Portanto, realizou-se o empilhamento das bandas espectrais B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11 e B12 para análise da melhor composição colorida destas, possibilitando a extração de informações acerca da área estudada e auxiliar na discriminação dos objetos da superfície para futura aplicação do índice de vegetação.

O processamento do *Normalized Difference Vegetation Index*-NDVI ocorreu através da calculadora raster no *software* QGIS, onde se realizou o cálculo com a finalidade de determinar a presença de vegetação na área estudada. O NDVI foi calculado por meio da razão entre a diferença da reflectância do infravermelho (*NIR*) e do vermelho (*RED*), bandas 8 e 4 respectivamente, pelo somatório das duas bandas espectrais. Este índice varia entre -1 a 1 e quanto mais próximo de 1 destaca-se a presença de vegetação densa, o contrário se aplica para áreas com corpos d'água, sombra, solo exposto, ausência de vegetação (ROUSE *et al*, 1973). O índice foi obtido pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Após o cálculo do NDVI, a imagem do tipo raster foi disponibilizada no formato GeoTIFF, onde seguiu-se com a sua reclassificação do uso do solo na área estudada. Nesta etapa, utilizou-se o algoritmo do *Grass* (r.recode), disponível na linha de comando do próprio

QGIS. O NDVI na presente pesquisa foi classificado conforme Fernandes *et al.* (2021) ao utilizar o índice para estudos urbanos ajustado para a presente pesquisa (Quadro 4).

Quadro 4. Classes de uso e cobertura do solo da área urbana de acordo com a reflectância do NDVI.

Classes	Denominação das classes	NDVI	Valor da classe
1	Corpos d'água	Ausência de vegetação	-1,00 a 0,00
2	Solo exposto		0,00 a 0,25
3	Vegetação esparsa	Presença de Vegetação	0,25 a 0,50
4	Vegetação densa		0,50 a 1,00

Fonte: Adaptado de Fernandes *et al.* (2021).

2.3 I-tree canopy

Para realizar a avaliação da atual cobertura do solo e estimativa da arborização e seus benefícios para cada cidade inserida na presente pesquisa, utilizou-se a plataforma do *I-Tree Canopy* de forma *online*, que possibilitou, através de amostragem aleatória, quantificar o uso e cobertura do solo em uma determinada área com base em imagens do *Google Earth*.

O uso da plataforma requer uma configuração prévia, a qual foi realizada em três procedimentos simples descritos na Figura 3. O primeiro é a inclusão de um arquivo do tipo *shapefile* (*.shp) e *projection* (*.prj) para delimitar a área em estudo, em seguida, foi realizada a seleção das classes que representassem o ambiente urbano das cidades avaliadas, nesse caso, realizou-se a classificação diante dos seguintes grupos: área construída, solo exposto, vegetação e água. A última etapa de configuração foi realizar a seleção dos padrões de saída dos dados, onde selecionou o sistema de medição na unidade métrica e a área urbana como padrão de análise, pois como a ferramenta faz parte de um pacote de *softwares* pertencentes ao *i-tree tools*, estas fornecem análise de dados urbanos e rurais.

Figura 3. Fluxograma da configuração do *I-tree Canopy*.

Seleção de um arquivo shapefile e rojection

Select a Shapefile ✕

Shapefile (*.shp)

Choose file Browse

Projection (*.prj)

Choose file Browse

⚠ Using projections other than WGS84 (EPSG:4326) may not produce the correct results. This feature is currently experimental.

Upload Cancel



Seleção das classes

Cover Classes				
Cover Class	Description	Abbreviation	Tree Cover?	Color
Verde Urbano		T	Yes	#1BCA00CC
Área Construída		IB	No	#000000CC
Water		W	No	#0000FFCC
Solo Exposto		S	No	#E4D29CC

Next

Etapa de configuração

Available Locations

United States of America

United Kingdom

Sweden

Korea, Republic of

Selected Locations

• United States of America

All Rural Urban

Use benefits from selected locations

Currency

Code

USD v

Symbol

\$

Measurement

Units

Metric v

Fonte: COSTA (2023).

Como a plataforma estima a área de cobertura do solo e os benefícios atmosféricos baseadas em imagens mais recentes do *Google Earth*, para este estudo as imagens foram de resolução de 0,3 metros datadas para o ano de 2022 (ENDRENY *et al.*, 2017).

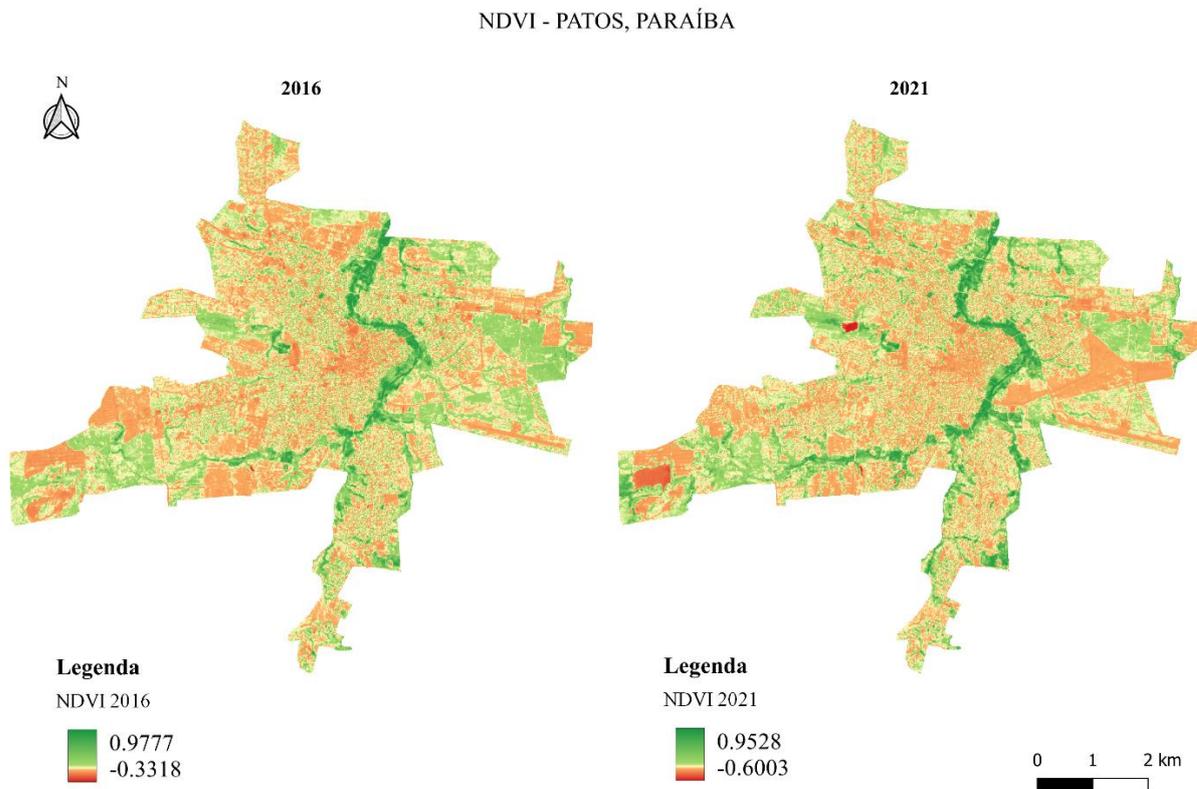
A partir de então, a ferramenta inicia a marcação de pontos aleatórios sobre a área estudada para a sua classificação. Os desenvolvedores do *I-tree* sugerem que sejam classificados entre 500 a 1000 pontos de amostragem para que ocorra uma estimativa de qualidade na área em estudo (NOWARK, 2021). Para a presente pesquisa optou-se em finalizar o procedimento quando o desvio padrão estivesse $\leq 1,5$ para todas as classes de cobertura avaliadas, neste caso o número de amostras foram sempre >1000 pontos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI

Conforme os mapas de NDVI representados na figura 4 para a cidade de Patos, observa-se a distribuição espaço-temporal de cinco anos dos *pixels* quanto as mudanças de uso e ocupação do solo. Os maiores valores registrados foram de 0,9777 e 0,9528 para os anos de 2016 e 2021, respectivamente, estes representam áreas com alto vigor vegetativo, onde o conteúdo de água disponível no solo para as plantas é suficiente para manter a vegetação com elevada eficiência fotossintética.

Figura 4. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de Patos, Paraíba.



Fonte: COSTA (2023).

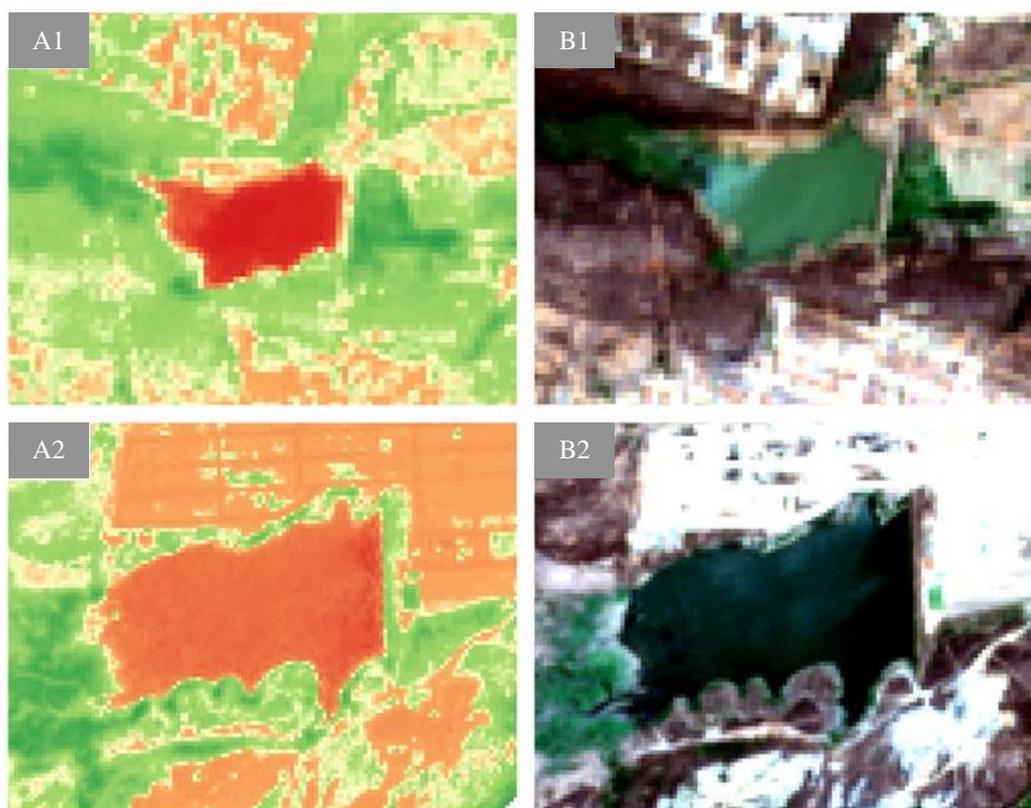
Na cidade de Patos estes valores máximos correspondem aos ambientes próximos ao Rio Espinharas que cruza o município, ainda é possível verificar entre os anos que 2021

apresentou maior intensidade de verde urbano em alguns pontos. De acordo com Lima *et al.* (2019), o NDVI quando superior a 0,45 representa as áreas de mata ciliar e, em estudos temporais, é comum que haja um destaque da vegetação em algum dos anos, decorrendo-se de eventos chuvosos no período da captura de imagem.

Os valores mínimos para os dois anos (2016 e 2021) no município representa áreas construídas e/ou com camada superficial do solo exposto. Observa-se, ainda, que a imagem de 2021 apresenta alguns picos na cor vermelha no setor oeste da cidade. Estas são características que indicam a presença de lâminas de água na área, que podem atingir valores extremos para o NDVI na faixa negativa.

Quando comparado com 2016, não observa a presença de corpos d'água, devido ao fato que, apesar dos períodos de coleta das imagens ocorrerem na estação seca, no ano de 2021 a pluviosidade média foi maior, resultando nos reservatórios ainda com presença de água no momento de captura da imagem (Figura 5).

Figura 5. Reflectância do NDVI no ano de 2021 para regiões com presença de água na cidade de Patos (A), comparada a composição colorida falsa cor (B).



Fonte: COSTA (2023).

Regiões em que o NDVI se aproxima de -1 correspondem aos corpos hídricos, portanto, alguns autores consideram na classificação do índice ambientes com presença de água como reservatórios, rios e oceanos, quando apresentam valores inferiores a zero (CERQUEIRA, 2012). Na presente pesquisa, espelhos d'águas indicaram valores mínimos de -0,6003 para o ano de 2021.

Contudo, embora os *pixels* de NDVI quando inferiores à zero correspondem aos corpos hídricos, na presente pesquisa valores negativos também foram identificados representando cobertura com manta asfáltica e telhados de zinco, materiais estes que possuem propriedades caloríficas bastante significativas. Esse comportamento espectral, de acordo com Freitas, Basso & Ferri (2015), deve-se a premissa de que os ambientes urbanos são muito alterados e com elevado nível de detalhamento em cada espectro.

Outros ambientes com atenuação antrópica que se destacaram no mapa de NDVI da cidade de Patos foram as áreas com presença de solo exposto, onde é possível observar na região da alça sudeste do município de Patos, áreas correspondendo aos loteamentos como o bairro planejado cidade do solo, no qual atualmente apresentou *pixels* entre 0,00 a 0,25, estes se assemelham a reflectância de telhados de cerâmica que reflete com mesma intensidade.

A tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de NDVI em que a média dos pixels representados para a cidade de Patos atingiram valores de 0,1896 e 0,2141 em 2016 e 2021, respectivamente. Nota-se que a média do ano de 2021 é superior ao ano de 2016, portanto, a quantidade de *pixels* que correspondem aos valores mais elevados de NDVI foi maior.

Tabela 2. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de Patos, Paraíba.

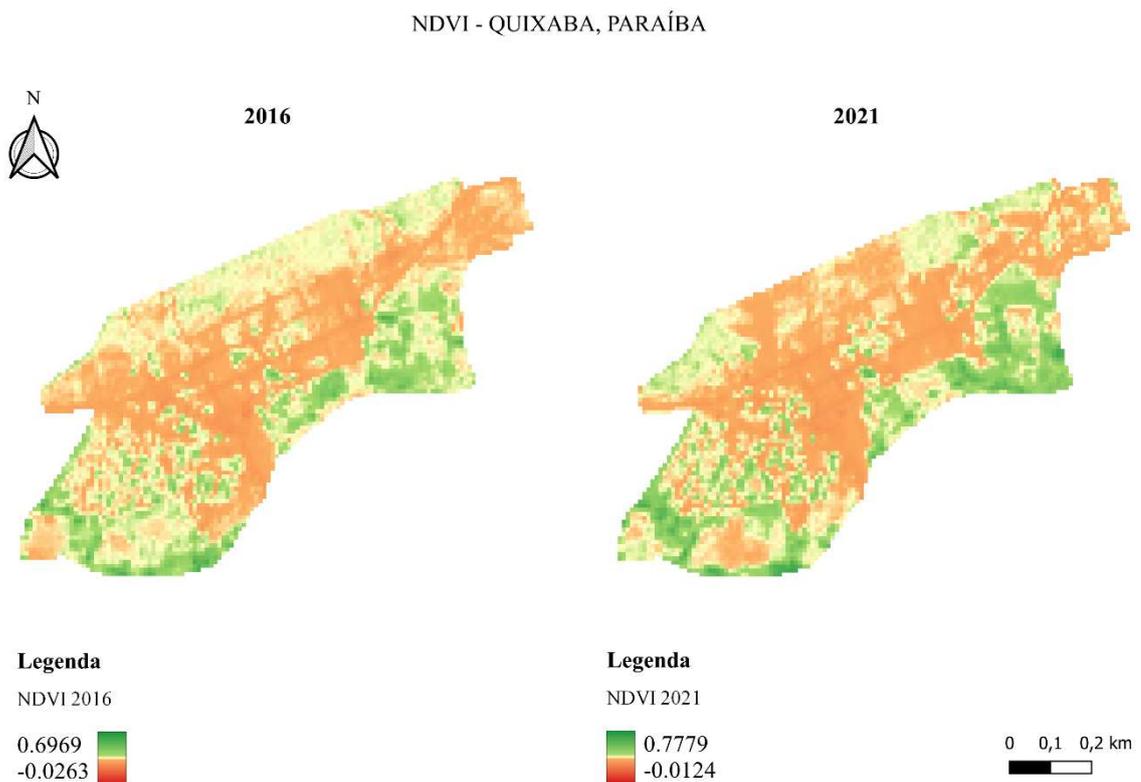
Data	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
28/10/2016	-0,3318	0,9777	0,1896	0,1339
22/09/2021	-0,6003	0,9528	0,2141	0,1591

Fonte: COSTA (2023).

No espaço tempo de cinco anos para a cidade de Patos houve um aumento de áreas com presença de vegetação, com *pixel* de NDVI variando entre 0,25 a 1,00, estes correspondem aos ambientes com cobertura arbórea, arbustiva e gramíneas. No ano de 2016, a estimativa quanto a cobertura verde foi 6,8 km², representando 18% e em 2021 10,4 km² (27%).

Para a cidade de Quixaba, o NDVI apresentou valores máximos de 0,6969 e 0,7779 para os anos de 2016 e 2021, respectivamente (Figura 6), os *pixels* que correspondem aos valores mais elevados para os dois períodos avaliados, se encontram no extremo sul da cidade, região caracterizada pela presença de cobertura vegetal densa e matas de galeria (áreas úmidas).

Figura 6. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de Quixaba, Paraíba.



Fonte: COSTA (2023).

Para Meneses, Almeida & Baptista (2019), as matas de galeria, culturas agrícolas irrigadas e florestas tropicais densas correspondem aos ambientes com pico de crescimento vegetativo. Portanto, para os dois períodos avaliados, a manutenção da quantidade de água disponível no solo possibilitou uma estabilização local do ambiente, entre o espaço tempo de cinco anos quanto aos valores máximos de NDVI identificados.

Os *pixels* mínimos de NDVI para a cidade de Quixaba (-0,0263 e -0,0124) correspondem a regiões com presença de solo exposto e área construída, refletindo com alta intensidade telhado de zinco no centro da cidade. Diante da visualização entre os anos de 2016

e 2021, a região norte da cidade apresentou um crescimento relacionado a exposição do solo em área remanescente de vegetação no ano de 2016, sendo que em 2021 encontra-se com maior intensidade do vermelho.

De acordo com Zhang & Ramírez (2019), é comum que ambientes urbanos estejam em constante modificação, entretanto, as mudanças devem ser de responsabilidade dos gestores, buscando-se medidas paliativas e compensatórias sobre a infraestrutura verde de cada município. Portanto, é importante ressaltar que o planejamento estratégico eficiente sobre os ambientes urbanos é fundamental, onde a prática de queimadas ou retirada da vegetação pode ocorrer de forma não planejada, alterando a paisagem e os benefícios por ela prestados.

A tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de NDVI na cidade de Quixaba. A média dos pixels referente ao índice analisado apresentou valores positivos para os anos de 2016 e 2021. Entretanto, os valores permaneceram entre a faixa de 0,00 a 0,25, o que corresponde a áreas com solo exposto.

Tabela 3. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de Quixaba, Paraíba.

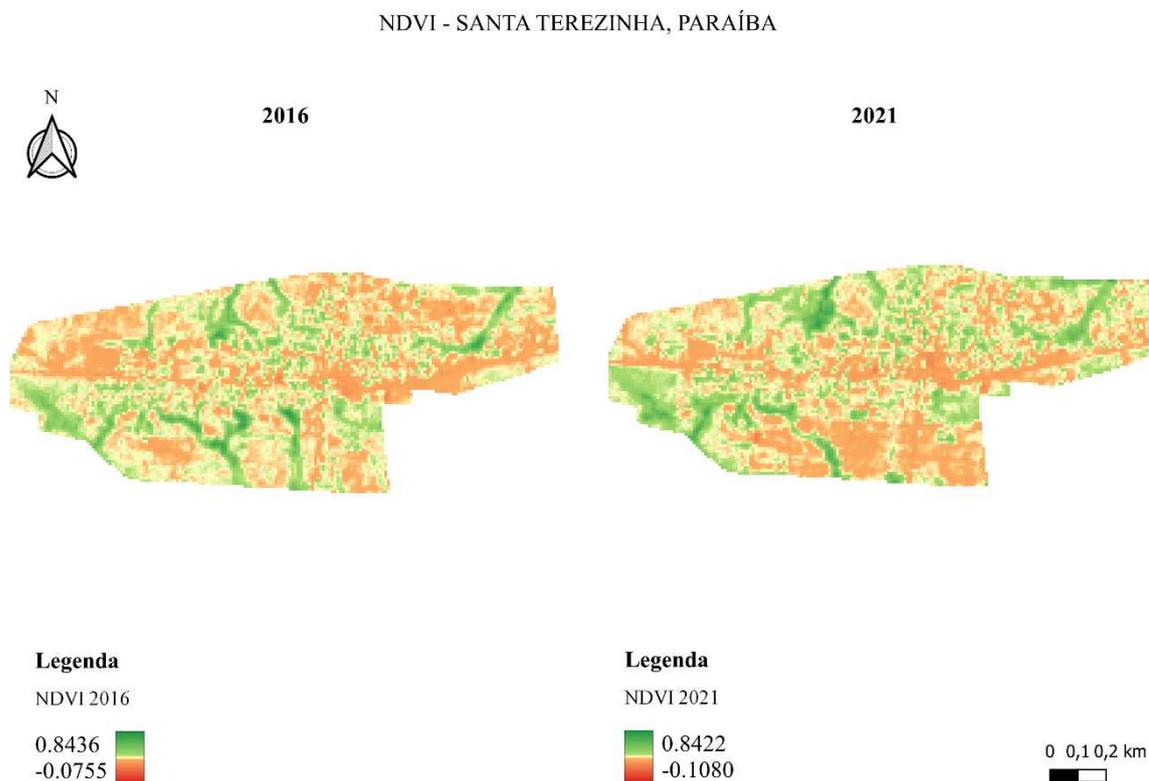
Data	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
28/10/2016	-0,0263	0,6969	0,1734	0,0835
22/09/2021	-0,0124	0,7779	0,1821	0,1049

Fonte: COSTA (2023).

Quanto aos ambientes com presença de cobertura verde urbana, que apresentam *pixels* de NDVI entre a faixa de 0,25 a 1,00, a cidade de Quixaba apresentou aumento entre os dois períodos avaliados, 2016 com 0,0747 km² e em 2021 com 0,1085 km², 12% e 18% de cobertura verde, respectivamente.

Os valores máximos de NDVI para a cidade de Santa Terezinha foram de 0,8436 e 0,8422 para os anos de 2016 e 2021, respectivamente. De acordo com o mapa de NDVI (Figura 7) o maior valor para o ano de 2016 corresponde a presença de vegetação do tipo arbórea, entretanto, em 2021 os valores máximos encontram-se associados a ambientes úmidos, havendo confusão espectral com outros tipos de vegetação.

Figura 7. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de Santa Terezinha, Paraíba.



Fonte: COSTA (2023).

Quanto aos valores mínimos observados para o NDVI da cidade de Santa Terezinha (-0,0755 e -0,1080) para os anos de 2016 e 2021, respectivamente, estes correspondem ao mesmo ambiente, representando a reflectância de materiais do tipo telha metálica. De acordo com Pereira & Couto (2020), os espectros que correspondem aos telhados metálicos são comumente confundidos com cimento, que apresentam alta capacidade de reflectância e encontram-se associados ao surgimento de ilhas de calor.

Mediante a visualização entre os anos de 2016 e 2021, as mudanças espaço-tempo para os diferentes usos do solo no município ocorreram com maior intensidade no setor oeste, havendo o surgimento pontual de regeneração da vegetação e na região sul, com o surgimento de áreas com solo exposto.

As regiões com presença de cobertura vegetal estimada com NDVI na cidade de Santa Terezinha apresentaram área de 0,1661 km² e 0,2092 km² para 2016 e 2021, respectivamente, que representam 16% e 20% de cobertura verde urbana para o município, envolvendo os valores de *pixels* de NDVI entre 0,25 a 1,00. De acordo com as estatísticas descritivas na Tabela 4, as

médias de NDVI foram 0,1891 em 2016 e 0,1957 para 2021, indicando um aumento na quantidade de pixels com valores positivos que correspondem aos alvos com cobertura vegetal verde densa.

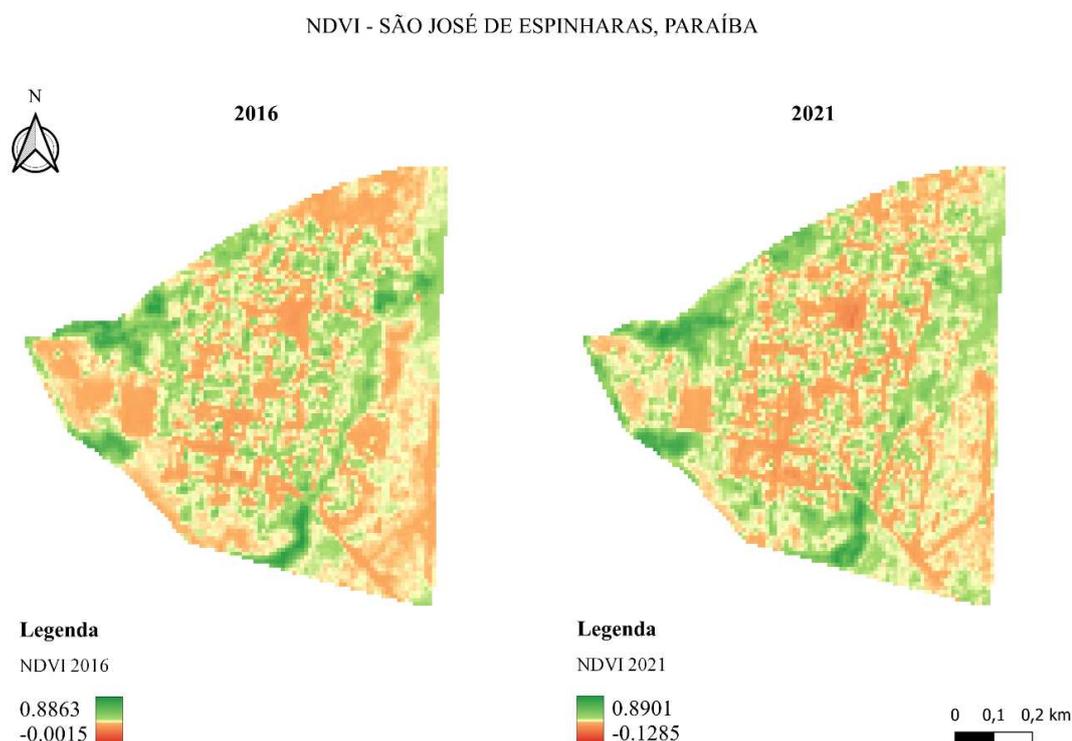
Tabela 4. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de Santa Terezinha, Paraíba.

Data	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
28/10/2016	-0,0755	0,8436	0,1891	0,0944
22/09/2021	-0,1080	0,8422	0,1957	0,1018

Fonte: COSTA (2023).

Os mapas de NDVI para a cidade de São José de Espinharas encontram-se na figura 8, a partir destes pode-se observar que entre os anos de 2016 e 2021 as principais alterações ocorreram nos ambientes próximos aos limites do perímetro urbano, essas mudanças ocorrem devido a presença de pequenos cursos naturais de drenagem de águas, que se encontram no entorno da cidade.

Figura 8. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de São José de Espinharas, Paraíba.



Fonte: COSTA (2023).

Os valores máximos de NDVI para a cidade de São José de Espinharas indicam a presença de ambientes úmidos, correspondendo a vegetação densa típica de mata ciliar. Enquanto os valores mínimos correspondem também aos telhados do tipo metálicos, como identificados nos municípios de Santa Terezinha e Quixaba.

A tabela 5 destaca as estatísticas descritivas para o perímetro urbano de São José de Espinharas, onde as médias entre os dois períodos analisados indicam um aumento nos *pixels* de NDVI próximos ao valor positivo com o surgimento de áreas remanescentes de vegetação nos limites do perímetro urbano da cidade.

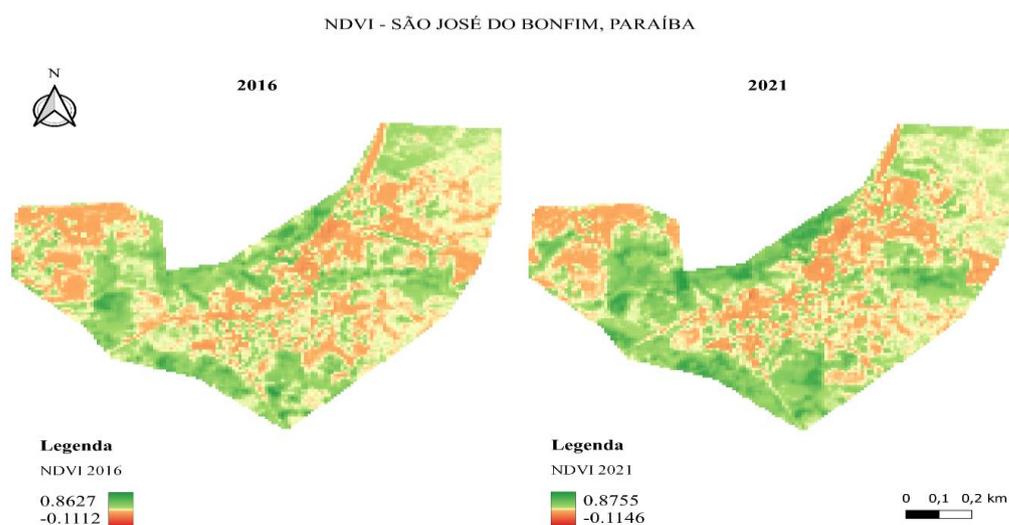
Tabela 5. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de São José de Espinharas, Paraíba.

Data	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
28/10/2016	-0,0015	0,8863	0,2068	0,1213
22/09/2021	-0,1285	0,8901	0,2142	0,1235

Fonte: COSTA (2023).

A cidade de São José do Bonfim apresentou mudanças quanto ao uso do solo no espaço-tempo de cinco anos. Mediante análise visual dos mapas na figura 9, observa-se que regiões correspondendo a vegetação esparsa e solo exposto, com *pixels* variando entre 0,00 a 0,50 indicados na tonalidade vermelho-amarelo no ano de 2016, em 2021 surgem como superfícies vegetadas, com biomassa fotossinteticamente ativa.

Figura 9. Mapa temático do NDVI para os anos de 2016 e 2021 no limite do perímetro urbano do município de São José do Bonfim, Paraíba.



Fonte: COSTA (2023).

As análises estatísticas para o ano de 2016 apresentam valores máximos e mínimos de 0,8627 a -0,1112, já para o ano de 2021 os valores foram de 0,8755 a -0,1146. Os valores máximos indicam áreas com *pixels* superiores a 0,5, onde ocorre alta densidade vegetal e crescimento vegetativo de espécies do tipo arbórea. Enquanto o valor mínimo em 2016 corresponde a uma praça pública em que estruturas impermeáveis de cimento reflete com intensidade elevada e em 2021 o valor mínimo refere-se a telhados metálicos.

Portanto, de acordo com a tabela 6, as médias referentes aos *pixels* de NDVI em 2016 quando comparada a 2021 indicam que no espaço tempo estudado houve um aumento correspondendo aos valores próximos a +1,00, assim como nos demais municípios (Tabela 6). São José do Bonfim apresentou 30% de cobertura arbórea para o ano de 2016 com área de 0,2911 km² e em 2021 0,3490 km² (37%).

Tabela 6. Estatísticas descritivas do NDVI para o município de São José do Bonfim, Paraíba.

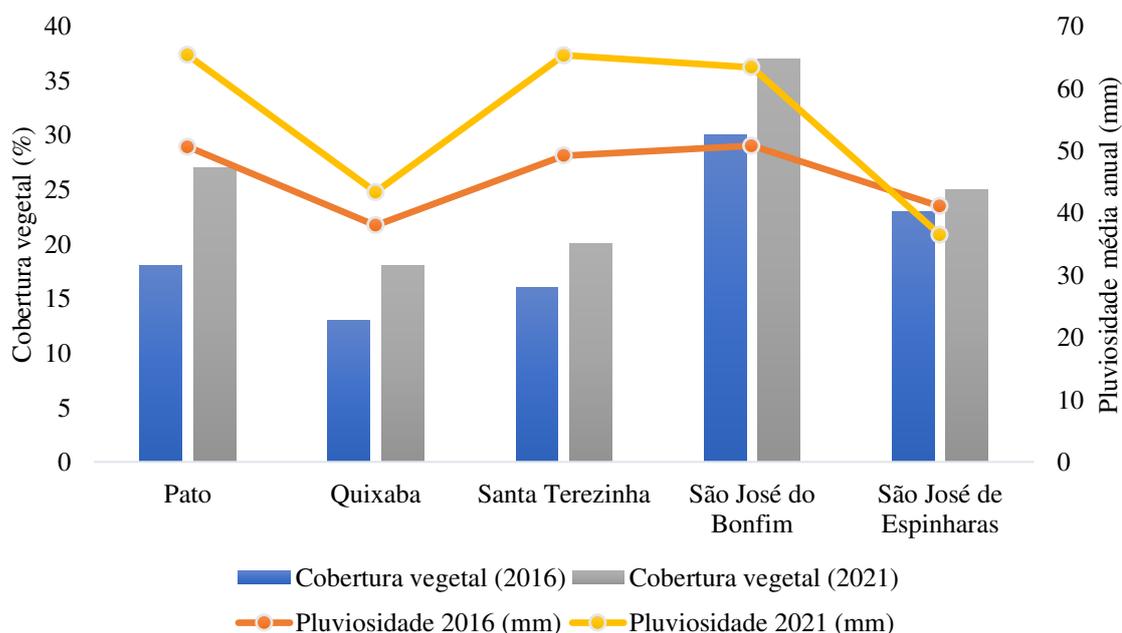
Data	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
28/10/2016	-0,1112	0,8627	0,2256	0,1158
22/09/2021	-0,1146	0,8755	0,2518	0,1446

Fonte: COSTA (2023).

Barros, Farias & Marinho (2020) realizaram a aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para caracterizar o uso do solo com foco na vegetação em Juazeiro do Norte, Ceará. Os autores encontraram valores próximos a -0,5 em áreas que correspondem a reflectância de solo exposto que sofreu algum tipo de alteração. Na presente pesquisa, estas áreas correspondem aos *pixels* de NDVI com valores entre 0,00 a 0,25. O único município que indicou valores mínimos próximos a -0,5 foi Patos, onde estes valores caracterizaram corpos hídricos.

Em resumo, a figura 10 retoma os principais resultados quanto a arborização urbana para as cidades avaliadas, associado à pluviosidade média anual. Nota-se que em todas as cidades o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada estimou para cobertura verde um valor predominantemente superior para o ano de 2021 quando comparado a 2016.

Figura 10. Porcentagem de cobertura vegetal associada à pluviosidade média anual para os anos de 2016 e 2021.



Fonte: COSTA (2023) e AESA (2021).

No presente estudo, o NDVI entre a faixa de 0,25 a 1,00 apresentou uma diversidade elevada dos tipos de cobertura do solo associada ao verde urbano, onde nesta classe são caracterizadas vegetação do tipo arbórea, arbustiva e gramíneas que sobre condições favoráveis apresentam pico de crescimento vegetativo no índice utilizado.

Diante da similaridade entre os resultados, pode-se afirmar que o ano de 2021 apresentou eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa maior do que 2016. Esse resultado está relacionado ao fato de que as condições ambientais (período chuvoso) possibilitaram o armazenamento do conteúdo de água no solo por um período de tempo mais prolongado, influenciando nos percentuais de verde urbano entre 0,25 a 1,00.

Portanto, de acordo com dados da AESA (2021), a pluviosidade média anual para os dois anos foi sempre superior em 2021, com exceção do município de São José de Espinharas que obteve 54,9 mm a mais em 2016. Estas condições ambientais viabilizam a capacidade de reflectância da banda verde, caracterizada pela vegetação no comprimento de onda de 550nm. Segundo Ranagalage, Estoque e Murayama (2017), o NDVI reflete com bastante vigor áreas com biomassa fotossinteticamente ativa, em seu estudo o índice de vegetação apresentou valores mais elevados em ambientes úmidos.

Diante dessa perspectiva, para as cidades avaliadas os valores elevados de NDVI correspondem também aos ambientes mais úmidos, corroborando com resultados de outros estudos (LIMA *et al.*, 2019; MENESES, ALMEIDA & BAPTISTA, 2019). Para Pessi *et al.* (2019), a Temperatura de Superfície da Terra-TST é também uma variável importante e se destaca inversamente proporcional ao NDVI, em que valores elevados da temperatura de superfície estão relacionados a áreas construídas e/ou solo exposto, o oposto se confirma.

Huang *et al.* (2020) destacam a importância de estudos voltados a análise de alterações da vegetação espaço-tempo em períodos da estação seca e chuvosa e confirmam, em sua pesquisa, os padrões de mudança entre o NDVI e as variáveis climáticas capazes de melhorar a eficiência do verde urbano em períodos mais favoráveis. Os autores destacam, ainda, que a dinâmica do índice de vegetação sobre as atividades antrópicas viabiliza a eficiência desse quanto aos seus resultados também para ambientes urbanos, a depender da resolução espacial.

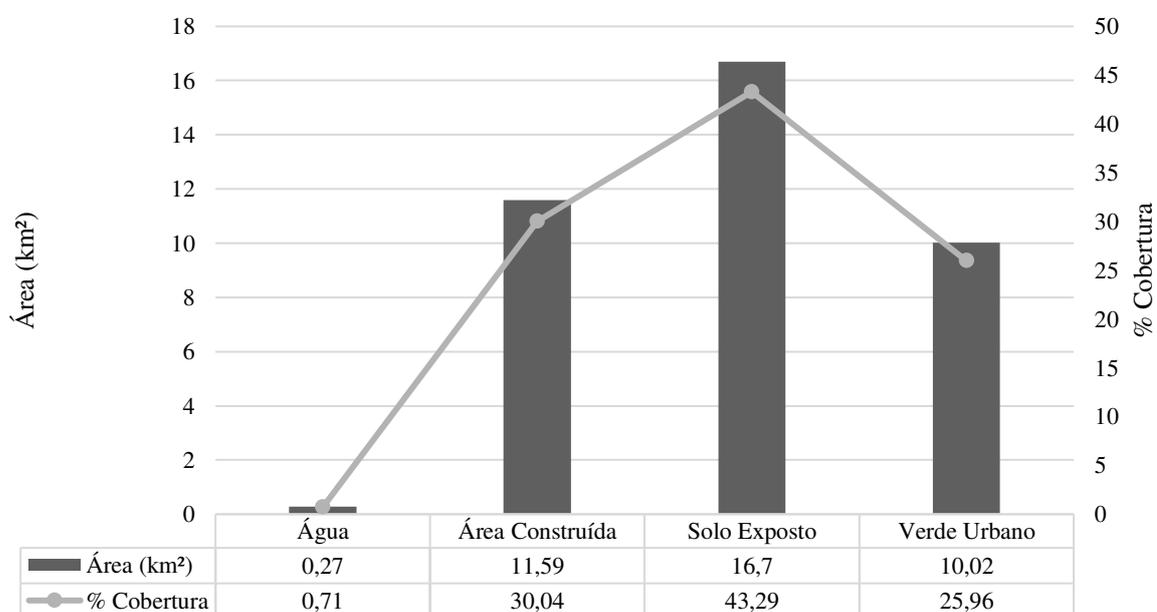
Uma condição que poderia decorrer em confusões na assinatura espectral do índice de cobertura verde para as cidades diz respeito às características fisiológicas de espécies presentes na arborização urbana dos municípios. Contudo, a diversidade florística destes apresentam a presença de espécies exóticas predominantemente, estas, por sua vez, não caracterizam mecanismos de defesa para o período seco, como a perda de folhas, mantendo-se verde durante todo o ano (LUCENA *et al.*, 2015; BORGES, 2019; LIRA FILHO *et al.*, 2019;).

Por fim, apesar da eficiência quanto aos resultados do índice de vegetação nos ambientes urbanos, o NDVI pode misturar alguns espectros de cobertura verde com outros tipos de vegetação, portanto, o índice consegue distinguir classes de cobertura de solo, como solo exposto e áreas com presença de alteração antrópica, sendo mais eficiente em ambientes com média a alta densidade vegetal no qual destaca o vigor vegetativo (DEMARCHI, PIROLI & ZIMBACK, 2011; SILVA *et al.*, 2019).

3.1 *I-tree canopy*

Os resultados da atual classificação de uso da terra para a cidade de Patos encontram-se na Figura 11. Foram coletados 1125 pontos amostrais, distribuídos na zona urbana do município. Mediante a análise, observa-se que o solo exposto e os ambientes construídos destacam-se com as maiores áreas ocupadas atualmente no perímetro urbano, representada principalmente por solo exposto, devido ao possível crescimento no parcelamento do solo para novos loteamentos na cidade. O percentual de cobertura vegetal foi estimado em 25,96% ($\sigma \pm 1,31$), o equivalente a 10,02 km².

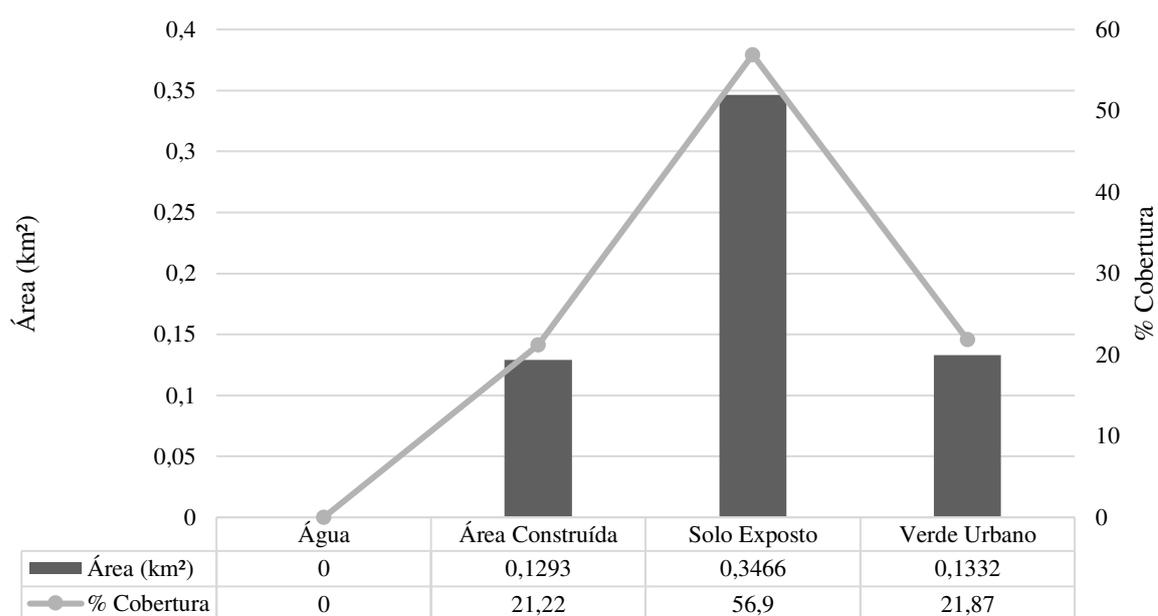
Figura 11. Classificação da cobertura da terra através do *i-tree Canopy* para o município de Patos, Paraíba, em 2022.



Fonte: COSTA (2023).

Para a cidade de Quixaba, predomina também áreas com solo exposto, entretanto, dentre as cidades inseridas na pesquisa, destacou-se com um dos maiores percentuais de áreas com presença de solo exposto. De acordo com a Figura 12, observa-se que a cobertura verde no município atinge 13,32 km² (21,87%). De acordo com as estimativas do *i-tree canopy*, o erro padrão foi de $\sigma \pm 1,26$ para a cobertura verde, foram amostrados 1079 pontos de controle.

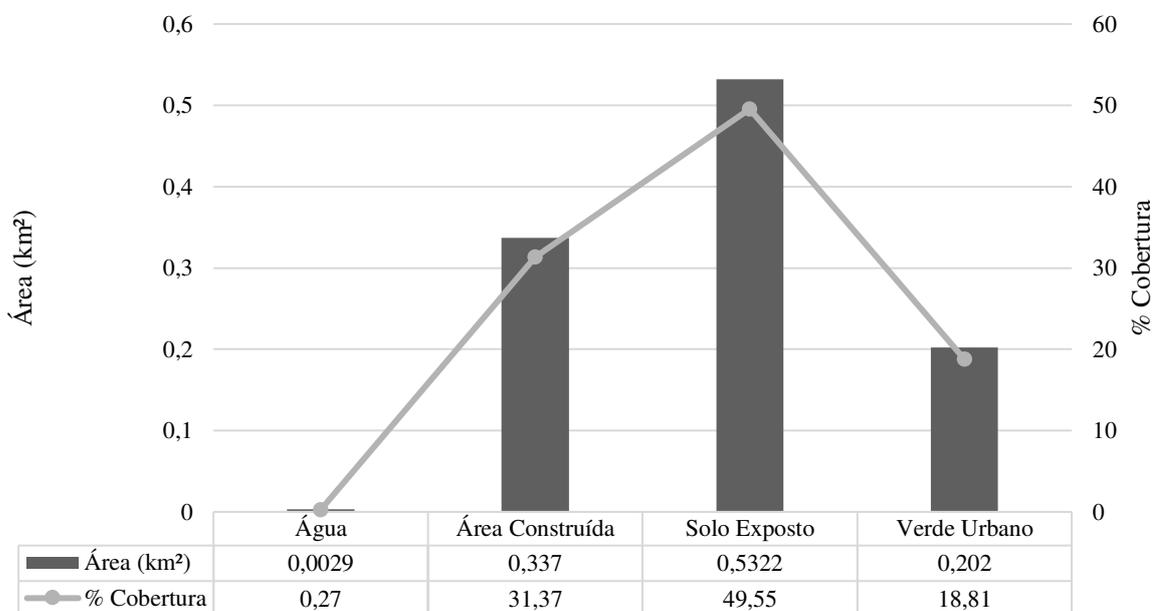
Figura 12. Classificação da cobertura da terra através do *i-tree Canopy* para o município de Quixaba, Paraíba, em 2022.



Fonte: COSTA (2023).

O município de Santa Terezinha apresentou um percentual de cobertura verde distribuídas no perímetro urbano de 18,81%, o equivalente a 20,2 km². Na Figura 13 observa-se as demais estimativas quanto a cobertura da terra no perímetro urbano da cidade. Foram distribuídos na área 1106 pontos amostrais e classificados mediante a sua cobertura, o erro padrão para o percentual de cobertura vegetal foi de $\sigma \pm 1,17$.

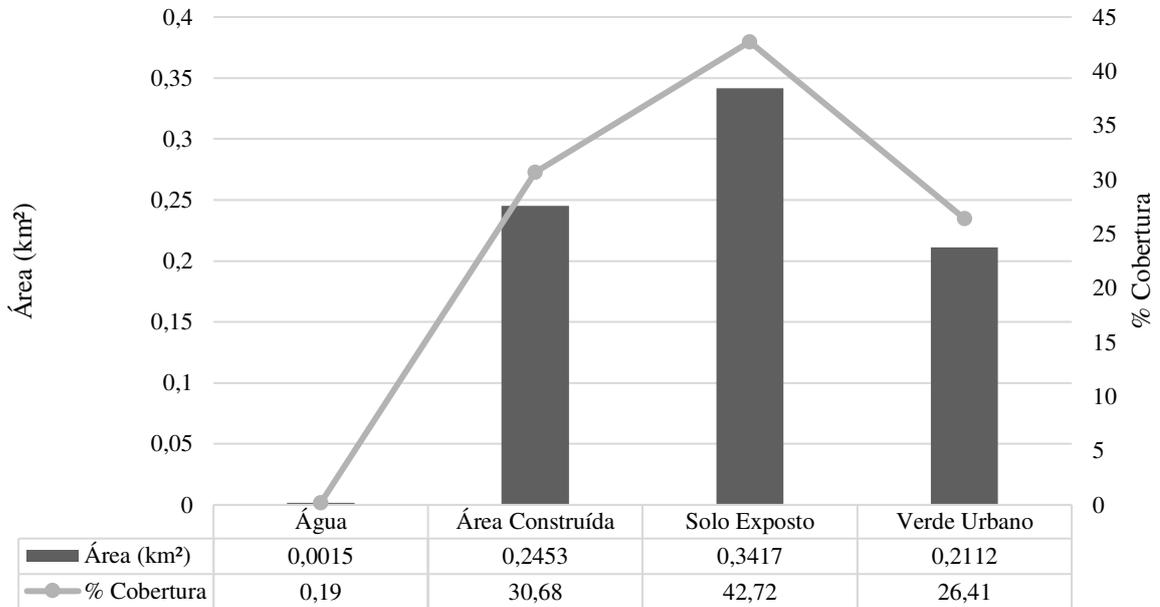
Figura 13. Classificação da cobertura da terra através do *i-tree Canopy* para o município de Santa Terezinha, Paraíba, em 2022.



Fonte: COSTA (2023).

Os dados de cobertura da terra para a cidade de São José de Espinharas apresentou 21,12 km², o equivalente a 26,41% de cobertura verde (Figura 14). Foram avaliados 1079 pontos de amostras distribuídos em todo o perímetro urbano do município, o erro padrão foi estimado em $\sigma \pm 1,34$ para a estimativa de cobertura verde.

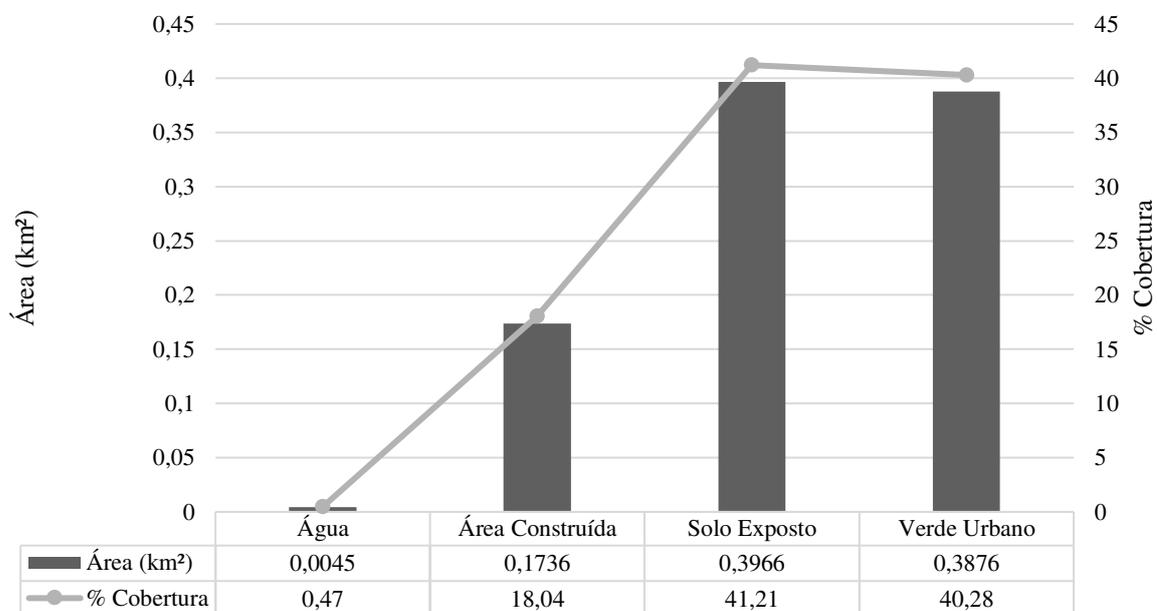
Figura 14. Classificação da cobertura da terra através do *i-tree Canopy* para o município de São José de Espinharas, Paraíba, em 2022.



Fonte: COSTA (2023).

Os dados referentes a cobertura da terra para a cidade de São José do Bonfim encontram-se na figura 15. Observa-se que a quantidade de verde urbano foi semelhante ao solo exposto no município e entre as cidades avaliadas a cobertura vegetal atingiu os maiores percentuais, o equivalente a 40,28%.

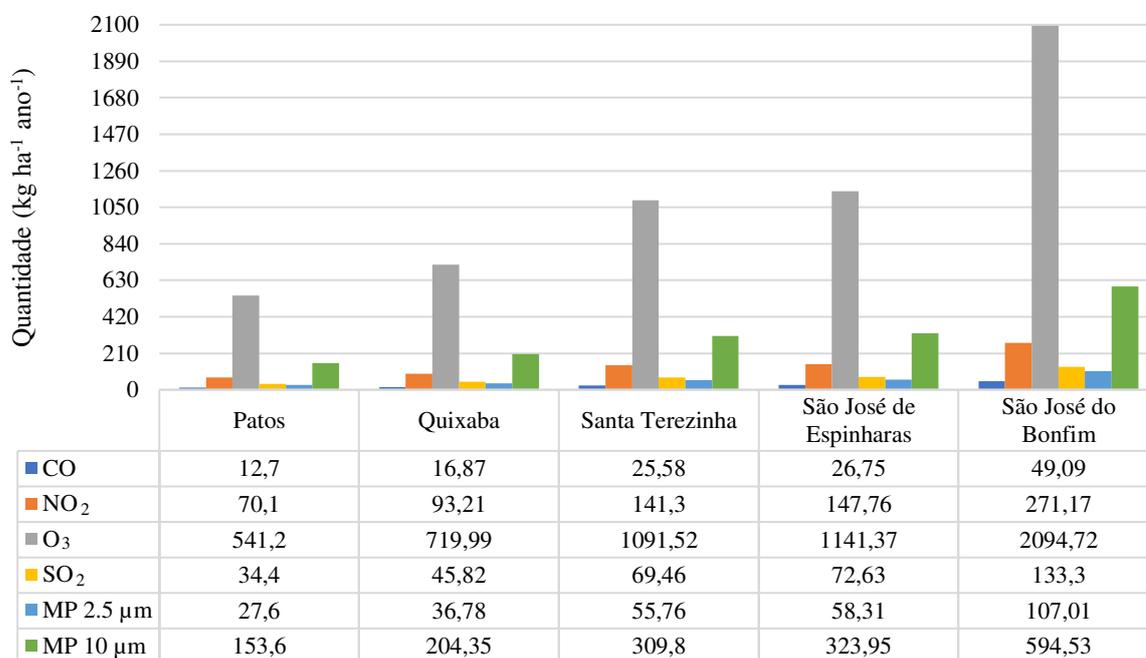
Figura 15. Classificação da cobertura da terra através do *i-tree Canopy* para o município de São José do Bonfim, em 2022.



Fonte: COSTA (2023).

Quanto ao potencial de remoção dos poluentes atmosféricos estimados para os municípios avaliados na presente pesquisa (Figura 16), nota-se que o crescimento destes foi relativamente proporcional a quantidade de cobertura vegetal quantificada em cada cidade. São José do Bonfim apresentou as melhores estimativas de remoção dos principais poluentes listados pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, totalizando 3249,82 kg ha⁻¹ ao ano.

Figura 16. Estimativas dos benefícios das árvores: quantidade de poluentes absorvidos em monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃), material particulado (MP10 e MP2,5) e dióxido de enxofre (SO₂).



Fonte: COSTA (2023).

De acordo com a análise realizada pelo *i-tree canopy*, a cidade que apresentou as melhores estimativas de remoção dos poluentes atmosféricos foi São José do Bonfim, totalizando 3249,82 kg ha⁻¹ no ano de 2022 e Patos indicou um total de 839,6 kg ha⁻¹, sendo o município que apresentou os menores benefícios. Em termos percentuais, São José do Bonfim indicou maior quantidade de verde urbano comparado a Patos. Observa-se que as remoções anuais do ozônio (O₃) configura-se predominantemente superior aos demais poluentes quantificados, seguido do material particulado 10 μm.

Olivatto (2017) realizou estimativas dos serviços ecossistêmicos no parque municipal Portugal, na cidade de Campinas, São Paulo e verificou que as remoções anuais do ozônio foram as mais significativas para o estudo. Mendes (2021) também estimou através do *i-tree* a quantidade de poluentes atmosféricos em um corredor ecológico comparado a uma área urbana e, além do ozônio apresentar as remoções mais significativas, obteve-se ainda resultados que indicaram a remoção das concentrações de material particulado superiores em ambientes conservados, comparado a zona urbana.

Portanto, o *i-tree canopy* é uma forte ferramenta para avaliação de classes de cobertura do solo em diferentes cenários, capaz de estimar os benefícios prestados pelos serviços ecossistêmicos em determinados espaços de forma prática e objetiva.

4 CONCLUSÕES

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI indicou mudanças para uso e ocupação dos solos entre o espaço-tempo de cinco anos (2016 e 2021) para o perímetro urbano de Patos, Quixaba, Santa Terezinha, São José de Espinharas e São José do Bonfim.

A biomassa fotossinteticamente ativa apontou um aumento da arborização urbana para todas as cidades avaliadas, onde São José do Bonfim apresentou índice de verde urbano superior a 40%. Percentualmente, o município de Quixaba apresentou maior área com solo exposto (+56%).

A plataforma *i-tree canopy* indicou que as quantidades de vegetação quando elevadas respondem a uma maior capacidade de remoção dos poluentes atmosféricos, confirmando uma relação positiva com serviços ecossistêmicos. O *i-tree* mostrou ser muito útil para ser utilizada pelos gestores municipais, tendo em vista estimar a quantidade de ozônio e outros poluentes.

REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Monitoramento**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/>. Acesso em: 5 jan. 2023.

ANJOS, D. M. **Geotecnologias aplicadas ao uso e cobertura do solo e à composição florística da microbacia do rio da cruz - PB**. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) – UFCG, Patos, Paraíba, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/15503/1/DENIZE%20MONTEIRO%20DOS%20ANJOS%20-%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20PPGCF%202018.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2021.

ARRUDA, L. E. V. *et al.* Índice de área verde e de cobertura vegetal no perímetro urbano central do município de Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 8, n. 2, p. 43, 2013. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7395432>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BARROS, A. S.; FARIAS, L. M. & MARINHO J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na caracterização da cobertura vegetativa de Juazeiro do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246669>. Acesso em 3 de jan. 2023.

BEZERRA, A. C. *et al.* Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.01, p. 286-301, 2020. ISSN:1984-2295 Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BONAMETTI, J. H. Arborização urbana. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, [S.l.], v. 19, n. 36, p. 51-55, 2020. ISSN 2596-2809. Disponível em: <http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistatestes/article/view/1412>. Acesso em: 07 jun. 2021.

BORGES, D. A. B. **Arborização na cidade de Patos/PB**: diagnóstico, benefícios térmicos da vegetação urbana e potencialidades paisagísticas de espécies nativas da Caatinga. 2019. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

BORGES, D. A. B. *et al.* Análise da arborização urbana na cidade de Patos/PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.04, p. 1343-1359, 2018. ISSN:1984-2295. Disponível em: www.ufpe.br/rbgfe. Acesso em: 05 jun. 2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**: Texto consolidado até a Emenda Constitucional nº 101 de 03 de julho de 2019. Brasília: 66 p. Disponível em: https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_03.07.2019/art_182_.asp Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Economia. **Sensoriamento Remoto**: Apostila. SPUGEO. p. 133, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/programa-de-modernizacao/linha-do-tempo/02_02_ted_uff-spu_apostila_sensoriamento_2017-12-18.pdf/@@download/file/02_02_ted_uff-spu_apostila_sensoriamento_2017-12.pdf. Acesso em: 14 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação Semiárido**. [S.l.:s.n.] . 2018. p. 63. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/relao-de-municipios-semirido-pdf>. Acesso em: 03 de jun. de 2021.

BRELSFORD, C. *et al.* Heterogeneity and scale of sustainable development in cities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 34, p. 8963–8968, 1 maio, 2017.

BUCKERIDGE, M. Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água. **Estudos Avançados**. [S.l.], 2015, v. 29, n. 84, p. 85-101. ISSN 1806-9592. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/dT7wSH4wQN9rFrTZQBvmbTt/?lang=pt#>. Acesso em 20 de maio de 2021.

CAMAÑO, J. D. Z. *et al.* Levantamento e diversidade da arborização urbana de Santa Helena, no semiárido da Paraíba. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.4, p.54-62, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v11i4.705>. Acesso em: 08 mai. 2021.

CERQUEIRA, M. A. **Sensoriamento remoto no estudo do balanço de energia na área de preservação ambiental da ilha de Santa Rita/AL**. 2012. 132 f. Dissertação (Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepository.ufpe.br%2Fbitstream%2F123456789%2F12497%2F1%2Fdisserta%25C3%25A7%25C%25A3o.pdf&cflen=6455224>. Acesso em: 10 out. 2021.

CORTE, A. R. *et al.* O Geoprocessamento como ferramenta para a avaliação quantitativa e qualitativa da arborização urbana do município de Colorado Do Oeste – RO. In: **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. p. 1-10. 2012. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VI-045.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2021.

DELFINO, R. C. H. *et al.* Levantamento do componente arbóreo de quatro praças na cidade de Itaporanga – PB. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1, p.10255-10266. 2021. ISSN: 2525-8761. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23840/19142>. Acesso em: 10 de jun. de 2021.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI E. L. & ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens landsat-5. **Raega**, v. 21, p. 234 271, 2011.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. Campinas, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em: 17 jun. 2021.

EMBRAPA. **Arborização urbana no semiárido**: espécies potenciais da caatinga. Colombo, 2012. *E-book*, Embrapa Florestas (21 ed.). ISSN 1980-3958. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/947072/1/Doc.243arborizacaourbana.pdf>. Acesso em: 10 de jun. de 2021.

EMDE, C. *et al.* Pacote de software libRadtran para cálculos de transferência radiativa (versão 2.0.1), **Geosci. Model Dev**, 9, 1647–1672, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1647-2016>, 2016.

ENDRENY, T. *et al.* Implementing and managing urban forests: A much needed conservation strategy to increase ecosystem services and urban wellbeing. **Ecological Modelling**, v. 360, 2017, p. 328-335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.016>

FERNANDES, R. T. V. *et al.* **Geoprocessamento e estudos urbanos auxiliados por QGIS**. São Paulo: Livraria da Física, 250 p. 2021.

FRANCISCO, P. R. M. *et al.* Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 08, n. 04, p. 1006-1016, 2015. ISSN:1984-2295. Bimensal. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 20 mai. 2021.

FREITAS, V. A. L.; BASSO L. O. & FERRI, R. **Curso de capacitação para implantação de cadastro territorial multifinalitário nos municípios do Sudoeste do Paraná**: Módulo 3- Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Pato Branco, PR: (UTFPR), 2015. (37 p.) Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/blog/download/id/85/post/781/midia/17536>. Acesso em: 11 jun. 2021.

GAMEIRO, S. *et al.* Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica. **TERRÆ**, v.13, 2016, ISSN 1679-2297 15. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V13/PDFv13/TE067-2.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

HUANG, S. *et al.* Quantitative contribution of climate change and human activities to vegetation cover variations based on GA-SVM model. **Journal Of Hydrology**, v. 584, p. 124687, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124687>.

IBGE. **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. E-book. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100643.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2021.

IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. E-book. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2021.

IBGE. **Introdução ao ambiente SIG QGIS**. 2 ed. 2018. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmninnkpcjpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fgeoftp.ibge.gov.br%2Fmetodos_e_outros_documentos_de_referencia%2Foutros_documentos_tecnic

os%2Fintroducao_sig_qgis%2Fintroducao_ao_ambiente_SIG_QGIS_2edicao.pdf&clen=9071613&chunk=true. Acesso em: 10 de out. de 2021.

I-TREE. I-tree canopy. 2006. Disponível em: <https://canopy.itreetools.org/references>. Acesso em: 24 out. 2022.

JACQUES, P. D. **Doutora rocha no mundo do geoprocessamento**. Rio de Janeiro, 2020. CPRM, 2020. ISBN: 978-65-5664-081-5. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/21962/1/cartilha_geoprocessamento_final.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

JATOBÁ, L. & SILVA, A. F. **Tópicos Especiais de Climatologia: uma análise geográfica dos climas**. Editora Itacaiúnas, 2020. E-book (131 p.). ISBN 978-65-88347-22-5. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350403768_TOPICOS_ESPECIAIS_DE_CLIMATOLOGIA_Uma_analise_geografica_dos_climas_2020. Acesso em: 09 jun. 2021.

LEITE, G. T. D.; PINHEIRO, R. Z. G. & PAMBOUKIAN, S. V. D. Monitoramento de áreas de risco com a utilização de técnicas de geoprocessamento. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 19, n. 1, 2019.

LIMA, N. A. S. *et al.* Spectral Indices for remote sensing with the LANDSAT-5 and SENTINEL-2 satellites around the Poço Cruz reservoir-PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.9, n.5, p. 299-309, 2019. Disponível em: www.periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs. Acesso em: 11 jun. 2021.

LIMA, S. M. S. A.; LOPES, W. G. R. & FAÇANHA, A. C. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, 2019.

LIRA FILHO, J. A. *et al.* Experiência piloto em arborização participativa em duas cidades de pequeno porte do Semiárido Brasileiro. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 4, n. 2, p.1, 2019. Universidade Federal do Paraná. DOI:<http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v4i2.66396>.

LUCENA, J. N. *et al.* Arborização em canteiros centrais na cidade de Patos, Paraíba. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 10 n. 4, p. 20-26, 2015. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3761>. Acesso em: 14 jul. 2021.

LUNGUINHO, R. L. **Nos caminhos dos relevos residuais**: contribuição à ecidrologia de encostas no semiárido brasileiro. Tese (Doutorado Programa de Pós-Graduação em Geografia) – UFPB/CCEN, João Pessoa, Paraíba, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13602?locale=pt_BR. Acesso em: 15 jun. 2021.

MARQUES, V. R. & SILVA, L. F. Avaliação dos fatores associados ao uso de área verde em uma cidade brasileira: um estudo transversal. **O Mundo da Saúde**. São Paulo, v. 3, n.40,

p.372-381, 2016. DOI: 10.15343/0104-7809.20164003372381. Disponível em: <https://revistamundodasaude.emnuvens.com.br/mundodasaude/article/download/267/220/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

MAZZAROTTO, A. S. **Planejamento urbano**. Curitiba: Contentus, 2020. 51 p. ISBS 978 65-5745-274-5.

MENDES, J. M. S. **O corredor ecológico norte da mata atlântica em São Paulo - SP e sua influência na qualidade do ar em áreas urbanas**. 2021. (Dissertação) Programa de Pós-graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho- UNINOVE, São Paulo, 2021.

MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/40535812/sensoriamentoremoto3.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. & BAPTISTA, G. M. M. **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 334 p. 2019.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 3. ed. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2014 (312 p.). ISBN 978-85-7193-358-3.

MUNIZ, M. Á. P. C. *et al.* **Manual de Arborização Urbana de Fortaleza**. Fortaleza CE, 2020. Independente (132p.). Disponível em: https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/manuais/manual_arborizacao.pdf. Acesso em 20 de maio de 2021.

NESPOLO, C. C. C. *et al.* Planos Diretores de Arborização Urbana: Necessidade de Incorporação na Legislação Brasileira. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. [S. l.], v. 15, n. 2, 2020. ISSN eletrônico 1980-7694. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/70466/pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

NOWAK, D. J. 2021. **Understanding i-Tree**: 2021 summary of programs and methods. General Technical Report NRS-200-2021. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 100 p. DOI: <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200-2021>. Disponível em: chromeextension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr_nrs200-2021.pdf. Acesso em: 26 maio. 2022.

OLIVATTO, T. F. **Utilização do software i-tree para estimar e valorar serviços ecossistêmicos no parque Portugal**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), Pontifícia Universidade Católica de Campinas-PUC, Campinas-SP, 2017.

OLIVEIRA, F. B. *et al.* **Geotecnologia e suas aplicações**. v.1 CAUFES, Alegre, Espírito Santo, 2018. ISBN 97-85-54343-02-6. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/10506/1/LIVRO_Geotecnologias_e_suas_aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso em 16 jun. 2021.

ONU. **Organização das Nações Unidas**. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2018. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>. Acesso em: 07 mai. 2021.

OSSOLA, A. *et al.* Small vegetated patches greatly reduce urban surface temperature during a summer heatwave in Adelaide, Australia. **Landscape and Urban Planning**, v. 209, n. 104046, 2021. Disponível em: www.elsevier.com/locate/landurbplan. Acesso em: 08 mai. 2021.

PARAÍBA [Lei Ordinária (2002)]. **Lei nº 7.182**, de 12 de dezembro de 2002. Institui a obrigação de arborização de prédios em construção no âmbito do Estado da Paraíba e dá outras providências. Paraíba, 2002. Disponível em: http://sapl.al.pb.leg.br/sapl/sapl_documentos/norma_juridica/6984_texto_integral Acesso em: 05 jun. 2021.

PARANÁ. Ministério Público. **Manual para Elaboração do Plano Municipal de Arborização Urbana**, 2. ed., 2018. ISBN 978-85-68772-23-2. Disponível em: https://meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Manual_Arborizacao_Urbana_2_edicao.pdf. Acesso em: 10 jun. 2021.

PAULA, B. F. S. **Caracterização da cobertura vegetal do município de Assis/SP (UGRHI-17) no ano de 2015 através do índice de vegetação por diferença Normalizada (NDVI)**. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos e Planejamento Ambiental em Bacias) – UNESP, Ourinhos, São Paulo, 2016. Disponível em: http://vampira.ourinhos.unesp.br/bou/tcc/P%C3%B3s_gradua%C3%A7%C3%A3o_2%C2%AA_edi%C3%A7%C3%A3o/Bruno%20Fernandes%20Silva%20de%20Paula/MONOGRAFI_A_BRUNO_FERNANDES.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

PAZ, R. J. *et al.* Unidades de conservação na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 17, p. 1283-1334, 2020. ISSN 2359-1412. DOI: 10.21438/rbgas(2020)071718. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v7n17/v07n17a18.html>. Acesso em: 03 jun. 2021.

PESSI, D. D. *et al.* Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios. **Terrae Plural**, v. 13, n. 3, p. 237–251, 2019. Disponível em: <https://revistas2.uepg.br/index.php/tp/article/view/13100>. Acesso em: 20 jan. 2022.

Pereira, L. C., & Couto, H. T. Z. Comparação entre processos de mapeamento da cobertura do solo urbano com ênfase na cobertura arbórea. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 127, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n127.13>. Acesso em: 10 jun. 2022.

PINHEIRO, C. R. & D. D. SOUZA. A Importância da Arborização nas Cidades e sua Influência no Microclima. **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, n. 1, v. 6, 2017. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/4179/3066. Acesso em: 10 jun. 2021.

QUARTAROLI, C. F.; VICENTE, L. E. & ARAUJO, L. S. **Sensoriamento remoto**. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). Geotecnologias e geoinformação. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 61-79. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas). Disponível em: chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fainfocnptia.embrapa.br%2Fdigital%2Fbitstream%2Fitem%2F103388%2F1%2FCap.4.pdf&cflen=26787. Acesso em 10 de out. 2021.

RAMOS, H. F.; NUNES, F. G. & SANTOS, A. M. Índice de áreas verdes como estratégia ao desenvolvimento urbano sustentável das Regiões Norte, Noroeste e Meia Ponte de Goiânia GO, Brasil. **Revista Cuadernos de Geografía**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.72844>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2818/281863455007/html/index.html>. Acesso em: 10 jun. 2021.

RANAGALAGE, M.; ESTOQUE, R. C. & MURAYAMA, Y. An Urban Heat Island Study of the Colombo Metropolitan Area, Sri Lanka, Based on Landsat Data (1997–2017). **Isprs International Journal Of Geo-Information**, v. 6, n. 7, p. 189, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi6070189>.

RIOJA, P. E. **Detección de cortas forestales mediante técnicas de detección de câmbios aplicadas a imágenes Sentinel-2**. Universidade Pública de Navarra, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/leona.DESKTOP773UT7F/Downloads/TFM%20Patricia%20Estivariz%20Rioja.pdf>. Acesso em: 09 de out. 2021.

ROUSE JR, J. W. *et al.* Paper a 20. In: **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**: Section AB. Technical presentations. Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration, 1973. p. 309.

SABADINI JUNIOR. Arborização urbana e a sua importância à qualidade de vida. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, n. 5069, 2017, ISSN 1518-4862. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/57680>. Acesso em: 4 jun. 2021.

SALES, M. *et al.* Cidades verdes: uma análise do Plano Diretor de Arborização Urbana do município de Salvador (BA). **Revista Monografias Ambientais**. v. 20, 2021, DOI: <https://doi.org/10.5902/2236130862962>, ISSN: 2236-1308. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/62962/html>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SILVA, M. B. *et al.* Inventário e diagnóstico da arborização urbana do município de Piranhas – AL. **Revista Craibeiras de Agroecologia**. 2017, n. 1, v. 1, XVI Encontro Regional de Agroecologia do Nordeste, 2017 [Rio Largo, AL]. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/3843/2923>. Acesso em: 08 jun. 2021.

SILVA, V. S. *et al.* Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. **Geology, Ecology, And Landscapes**, v. 4, n. 2, p. 159-169, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>.

SILVEIRA, J. A. R.; LIMA, L. E. O. & OLIVEIRA, J. X. A. Estratégias internacionais e tecnologias de gestão da arborização urbana. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 60, 2020. ISSN: 2318-8472. Disponível em: https://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/download/2395/2201. Acesso em: 15 jun. 2021.

STEFFEN, C. A. Introdução ao sensoriamento remoto. **Divisão de Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, 2016. Disponível em: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: Junho de 2021.

TEIXEIRA, R. L. P. *et al.* Mudanças climáticas, capacidade adaptativa e sustentabilidade: reflexões a partir das cidades da região semiárida brasileira. **Revista Geotemas**, v. 11, p. e02106, 2021. Disponível em: <http://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/3175>. Acesso em: 24 out. 2022.

TURNER-SKOFF, J. B & CAVENDER, N. The benefits of trees for livable and sustainable communities. **Plants People Planet**. v.1, n.4, p. 323-335, 2019. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ppp3.39> Acesso em: 11 jun. 2021.

TYBUSH, J. S.; MATTOS, D. F. & BRONZATTI, T. G. As áreas verdes e a qualidade de vida dos cidadãos: uma análise do estatuto da cidade brasileiro. **Derecho y Cambio Social**, 2017, ISSN: 2224-4131. Disponível em: https://www.derechoycambiosocial.com/revista047/AS_AREAS_VERDES.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

VANI, V. & MANDLA, V. R. Comparative study Of NDVI and SAVI Vegetation Indices in Anantapur district Semi-Arid áreas. **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**. volume 8, 2017, p. 559–566. Disponível em: <http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=8&IType=4> ISSN Print: 0976-6308. Acesso em: 10 de out. 2021.

VIGNOLA JUNIOR, R. ArbVias – Método de avaliação da arborização no sistema viário urbano. **Paisagem e Ambiente: Ensaios, São Paulo**, n. 35, p. 89 – 117, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i35>. Acesso em: 07 mai. 2021.

ZAIDAN, R.T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia**, v.7, n.2, p.195-201, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073/9359>. Acesso em: 11 jun. 2021.

ZHANG, S. & RAMÍREZ, M. F. Assessing and mapping ecosystem services to support urban green infrastructure: The case of Barcelona, Spain. **Cities** 92, Barcelona, Spain. v. 92, setembro 2019, p. 59-70. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.03.016>. Acesso em: 08 mai. 2021.