



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

ESPAÇOS VERDES URBANOS COMO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA CIDADE DE POMBAL/PB

URBAN GREEN SPACES AS A POTENTIAL FOR CARBON SEQUESTRATION IN THE CITY OF POMBAL/PB

(Recebido em 20-01-2024; Aceito em: 25-03-2024)

Mycarla Míria Araujo de Lucena

Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFRN) - Natal, Brasil
Professora colaboradora no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais-PPGSA/UFCEG
mycarlalucena@gmail.com

Matheus Fause Jacome de Lino

Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (UFCA) – Milagres, Brasil
matheus.fause@aluno.ufca.edu.br

Adelsom Soares Filho

Doutor em Ciências (UNICAMP) - Campinas, Brasil
Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFGD
adelsomfilho@ufgd.edu.br

Resumo

Nas últimas décadas, as ações antrópicas vêm intensificando as alterações no ambiente, de forma que os efeitos são sentidos pelos ecossistemas naturais e humanos. As vicissitudes passaram a ser percebidas, principalmente, através das mudanças do clima em nível global, corolário do aumento de desastres naturais e do aumento da temperatura. As principais atividades que mais vêm contribuindo para o crescimento das emissões dos gases do efeito estufa são as queimadas e o desmatamento, sobretudo com o incremento do dióxido de carbono na atmosfera, sendo ele um dos principais responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Nesse sentido, os espaços verdes urbanos apresentam uma função inestimável como sequestro de carbono, além de propiciar diversos serviços ecossistêmicos urbanos à sociedade. Diante disso, este artigo tem como objetivo geral de avaliar a estimativa de sequestro de carbono na área urbana e periurbana na cidade de Pombal, estado da Paraíba. Para isso, utilizou-se de imagens de satélites e do sensoriamento remoto com a aplicação dos índices de vegetação, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), somado ao PRI (*Photosynthetic Reflectance Index*), que, integrados, geraram um novo índice, o CO₂flux. Os resultados mostraram, através da análise espaço-temporal dos anos de 2016 e 2021, uma variação sazonal de absorção de carbono conforme a concentração ou a ausência de vegetação e influência do período chuvoso ou seco nos valores do CO₂flux. Por fim, este estudo aponta a relevância da conservação da

vegetação de Caatinga, principalmente nos espaços urbanos, como forma de absorção de carbono e de contribuição para o conforto térmico e para o bem-estar da sociedade.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Conservação; Semiárido; CO₂Flux.

Abstract

In recent decades, human actions have intensified and contributed to changes in the environment, and their effects impacts natural and human ecosystems. The vicissitudes began to be perceived, mainly, through changes in the climate on a planetary level, a corollary of the increase in natural disasters and increase in temperature. The main activities that have contributed most to the growth of greenhouse gas emissions are burning and deforestation, especially with the increase in carbon dioxide in the atmosphere, being one of the main causes of global warming and climate change. Urban green spaces have an invaluable function as carbon sequestration, in addition to providing various urban ecosystem services to society. Therefore, this article has the general objective of evaluating the estimation of carbon sequestration in the urban and peri-urban area in the city of Pombal, State of Paraíba. To do this, satellite images and remote sensing were used, applying vegetation indices such as the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) added to the PRI (Photosynthetic Reflectance Index), which when integrated generated a new index, the CO₂flux. The results showed, through the spatio-temporal analysis of the years 2016 and 2021, a seasonal variation in carbon absorption depending on the concentration or absence of vegetation and the influence of the rainy or dry season on CO₂flux values. Finally, this study highlights the relevance of conserving Caatinga vegetation, especially in urban spaces as a way of absorbing carbon and contributing to thermal comfort and the well-being of society.

Key words: Climate Change; Conservation; Semiarid; CO₂Flux.

Introdução

Nas últimas décadas, as ações antrópicas vêm intensificando as alterações no ambiente, de forma que os efeitos são sentidos pelos ecossistemas naturais e humanos. As vicissitudes passaram a ser percebidas, principalmente, através das mudanças do clima em nível global, corolário do aumento de desastres naturais e do aumento da temperatura.

Os resultados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) estimam que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,1° de aquecimento global acima dos níveis 1850-1900 em 2011-2020. As emissões globais de gases de efeito estufa (DEE) em 2030, implícitas nas contribuições determinadas a nível nacional anunciadas até outubro de 2021, tornam provável que o aquecimento exceda 1,5° durante o século XXI e tornem difícil limitar o aquecimento abaixo de 2°C (IPCC, 2023).

As ações humanas vêm contribuindo precipuamente através da queima de combustíveis fósseis e da queima das florestas, alterando a composição da atmosfera. Notam-se grandes alterações nas concentrações atmosféricas de CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), O₃ (ozônio), aerossóis e nuvens, entre outras (ARTAXO, 2014). Esses gases em alta concentração são causadores do fenômeno efeito estufa, apontados como os principais responsáveis do aquecimento global e das mudanças climáticas (NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

Segundo o Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030 para o Brasil (2023), as emissões de GEE continuam sendo o primeiro amplo exemplo do retrocesso conforme a meta 13.2 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável- ODS. Em 2020, o Brasil aumentou em 400 milhões de toneladas as emissões de gases de efeito estufa pelo país até 2030. Em 2021, o Brasil emitiu 2,4 bilhões de toneladas brutas de GEE, 12,2% a mais do que em 2020, configurando a maior taxa em quase duas décadas – 1,76 bilhão de toneladas (Gt) de carbono equivalente (CO₂), já descontadas as remoções por florestas secundárias e áreas protegidas, 17,2% a mais que em 2020, segundo o Grupo mencionado.

Nesse viés, é urgente pensar em políticas sustentáveis de planejamento do uso do solo para os espaços verdes urbanos, uma vez que já foi recomendado pela Agenda 2030, em seu Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 11, “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”. Especificamente, no 11.7, até 2030, “proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, particularmente para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência” (ONU, 2015).

Nesse contexto, encontra-se o Semiárido nordestino, que se manifesta com suas características naturais bastante vulneráveis, pelas condições climáticas que registram elevadas temperaturas e escassez pluviométrica. Para Dias e Pessoa (2020), esta conjuntura impõe diversos riscos, bem como a intensificação dos já existentes nas regiões semiáridas, tais como um aumento de temperatura que representa ameaças, como a maior ocorrência de eventos extremos de secas, o aumento de áreas desertificadas e a propagação de incêndios florestais.

Estudos mostram que em áreas preservadas de caatinga ocorre maior sequestro de carbono (MORAIS *et al.*, 2017). Assim sendo, faz-se urgente conservar a vegetação no semiárido. Soma-se a isso, a admirável biodiversidade faunística e florística do bioma Caatinga (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). Apesar disso, essa biodiversidade está altamente ameaçada devido à exposição à conversão de terras para agricultura e pecuária. Outro risco é o aumento da aridez, o que pode ameaçar a biodiversidade do bioma (OLIVEIRA *et al.*, 2012). O desflorestamento é a mudança de uso da Terra que mais emite CO₂, uma vez que apresenta o maior estoque de carbono por unidade de área (MONZONI, 2009). Ainda segundo este Monzoni (2009), as atividades humanas têm a capacidade de alterar consideravelmente os estoques de carbono dos ecossistemas, pois o carbono se encontra no solo, retido na biomassa e em compostos orgânicos em decomposição (MONZONI, *ibid.*).

Neste cenário, está inserido o município de Pombal, localizado na mesorregião do Sertão Paraibano, totalmente incluído no clima semiárido. No município, as temperaturas são elevadas e as chuvas são concentradas em poucos meses do ano, o que resulta em secas prolongadas e baixa disponibilidade hídrica (ANA, 2018). Aliado a essa condição climática, tem as atividades antrópicas como

o desmatamento, fatores esses que contribuem para as mudanças climáticas. O trabalho realizado por Rocha (2022), no município de Pombal, atesta, através de estudo com imagens de satélite, que neste município vem ocorrendo a perda da vegetação nativa, nos anos analisados entre 2014 e 2021, e que pode alterar o microclima local.

Dessa forma, faz-se fundamental preservar as áreas verdes urbanas e periurbanas da cidade, haja vista que essas áreas têm benefícios ambientais, estéticos e sociais, oferecendo benfeitoria na qualidade de vida através dos serviços ecossistêmicos, tais como: absorção de ruídos, atenuação da temperatura, regularização do ciclo hidrológico, conservação do solo, manutenção da biodiversidade, sequestro de carbono, filtro de poluição ambiental, entre outros (BUCKERIDGE, 2015). Além disso, Kistemann *et al.*, (2023) destaca os efeitos positivos no bem-estar físico e mental, bem como o efeito promotor da saúde.

Diante da pertinência do estoque de CO₂ em ambientes florestais, há o surgimento de métodos de quantificação (ALMEIDA e ROCHA, 2018) que utilizam os índices que são relevantes para estimar variáveis biofísicas e parâmetros florestais, como área foliar, biomassa, clorofila ou estimativa da produtividade da cultura etc. Pesquisas estão sendo realizadas a partir da estimativa de sequestro de carbono com a aplicação de índices de vegetação, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que calcula o carbono pela vegetação durante a fase da fotossíntese, integrado ao PRI (*Photosynthetic Reflectance Index*). Esses dois, agregados, geram um novo índice, o Índice de Sequestro Florestal de Carbono (CO₂flux) (BAPTISTA, 2003, 2004; ALMEIDA e ROCHA, 2018).

Esses índices são obtidos através do sensoriamento remoto, que é uma das técnicas mais bem sucedidas de coleta de dados para o levantamento e para o monitoramento dos recursos naturais terrestres em escala global, possibilitando aplicações em mapeamentos temáticos, monitoramento ambiental, desmatamentos florestais, entre outros (MENESES, 2012). Soares Filho *et al.* (2018) complementa que os usos das geotecnologias propiciam o acesso a informações em diferentes escalas e temporalidades, além de favorecer a redução do tempo e do custo das análises estudadas sobre determinado espaço.

Trabalhos realizados por Baptista (2004), Folharini e Oliveira (2017), Almeida e Rocha (2018), Soares Filho *et al.* (2018), Silva *et al.* (2019), ao utilizarem o sensoriamento remoto, mostram a sua relevância para calcular índices de vegetação e índice de reflectância fotoquímico para a determinação do CO₂Flux, a fim de obter a estimativa de estoque de carbono. Na caatinga, alguns trabalhos que utilizam esse índice estão sendo realizados e validados. O estudo realizado por Santos *et al.* (2023) compara os métodos de análise dos fluxos de CO₂ através do sensoriamento remoto com os dados medidos em superfície com o uso de torres micrometeorológicas, obtendo os dados compatíveis.

Nesta perspectiva, este artigo tem como objetivo geral avaliar a estimativa de sequestro de carbono na área urbana e periurbana da cidade de Pombal, Paraíba.

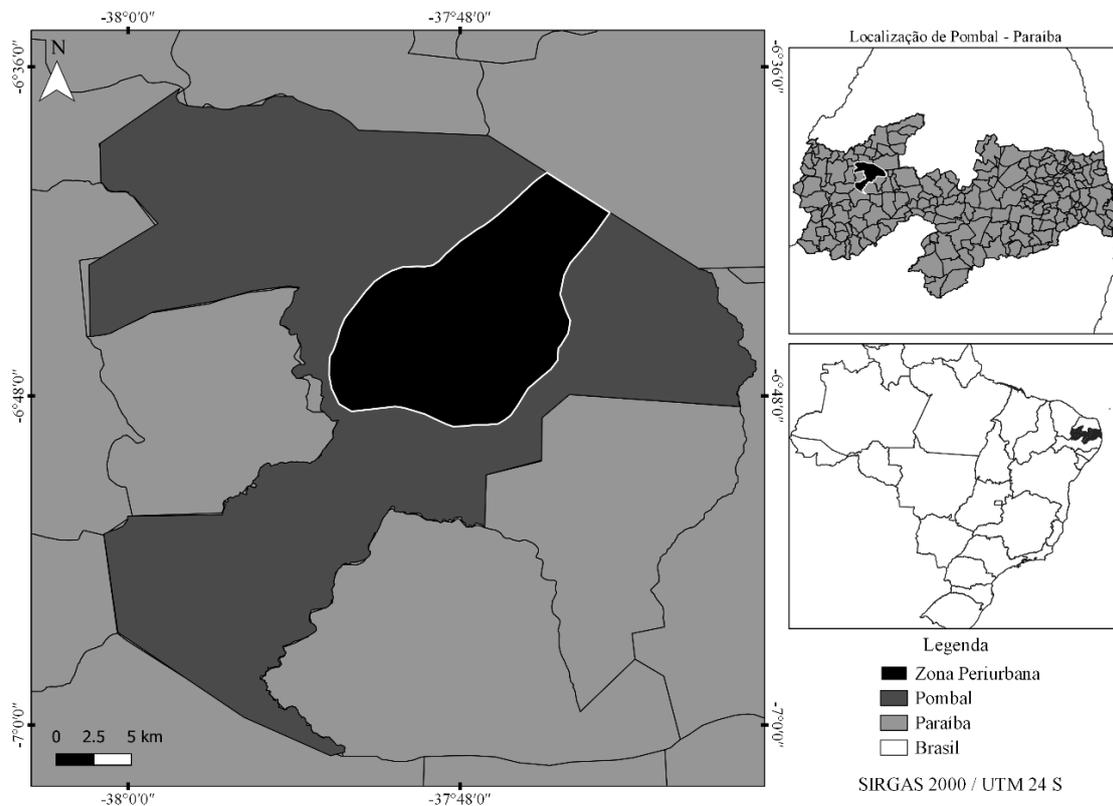
MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo encontra-se situada na região semiárida do Nordeste brasileiro, na Mesorregião do Sertão Paraibano e na Microrregião de Sousa-PB, na área urbana e periurbana da cidade de Pombal-PB (Figura 01), tendo como limites os municípios ao Norte, Santa Cruz e Lagoa; ao Sul com Condado, São Bentinho, Cajazeirinhas, Coremas e São José de Lagoa Tapada; ao Leste com Paulista, e a Oeste com Aparecida e São Francisco, todos no estado da Paraíba (IBGE, 2022).

O município apresenta uma área territorial de 894,099 km² e população estimada em 32.473 habitantes pelo IBGE (2022), ocupando a posição de 13º município mais populoso do estado paraibano. Na figura 1, destaca-se a área periurbana da cidade de Pombal, com 177,87 km², na qual foram analisados os índices para este estudo.

Figura 01 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Os autores (2021).

Esse município está inserido na região semiárida brasileira, que compreende 735.000km² e engloba um dos maiores ecossistemas nacionais conhecido como Caatinga (SANTOS *et al.*, 2014). Essa

região é densamente povoada, com aproximadamente 27 milhões de habitantes. Como consequência disso, uma das grandes ameaças são as altas taxas de ações antrópicas (GARIGLIO *et al.*, 2010). Além disso, ela apresenta condições climáticas severas, como elevadas temperaturas e baixas precipitações, segundo o IPCC (2019), e os cenários climáticos calculam que uma das ameaças à Caatinga é o aumento da aridez.

Delimitação da área

Foram utilizados dados cartográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, como o limite municipal e a zona urbana, onde a área de estudo está localizada, por meio de dados vetoriais no formato *shapefile* disponibilizados no portal de mapas do IBGE (2020).

Com base no limite da área urbana e nas imagens de satélite do Google Earth Pro, foi possível visualizar os limites físicos, os aspectos naturais, as ações antrópicas e os aspectos do urbano presente no rural, e, a partir disso, delimitar a área periurbana de Pombal, utilizando o *software* Qgis3.10 para criar o arquivo vetorial em *shapefile*.

Neste trabalho, a delimitação da área periurbana foi realizada com base nas características observadas por Abreu (2014) para definição da área periurbana em seu estudo, por abrangerem aspectos relacionados aos espaços rurais e urbanos. Em Pombal, observaram-se características como a presença de rios, as comunidades rurais, os diversos usos e ocupação no solo, como presença de corpos d'água (açudes), loteamentos, atividades agrícolas, áreas de lazer, empreendimentos diversos, estradas sem pavimentação, rodovias, uso do solo para produção de produtos voltados para a subsistência e criação de animais, atividade industrial, como agroindústrias (produção de queijos), infraestrutura como energia elétrica, entre outros usos.

Salienta-se que, neste estudo, tem-se o entendimento de que a cidade e o campo são espaços que se complementam, eles não são vistos como opostos. Contudo, essa delimitação foi realizada em termos de paisagem, uma vez que no município de Pombal há diferenciação entre esses espaços, entendendo a paisagem definida por Santos (2002, p.103.) como “um conjunto de elementos naturais e artificiais que fisicamente caracterizam uma área”.

Pré-processamento digital das imagens

As imagens selecionadas para esta análise são do satélite Sentinel-2A, obtidas da Agência Espacial Europeia (*European Space Agency* – ESA). Foram obtidas duas cenas identificadas pelo código T24MXT, da grade do Sentinel 2A, com cobertura integral da área de estudo, obtidas em 29 de outubro de 2016 e, 19 de julho de 2021, correspondente aos períodos seco e chuvoso respectivamente. A escolha

das datas dessas imagens se deu em razão de ter sido um dos anos considerados secos (2016), ou seja, pouca precipitação de chuvas e, em 2021, um ano com maior precipitação.

A opção pelo Sentinel-2A, sensor Multispectral Instrument (MSI), baseou-se na resolução espacial e espectral desse sensor. O MSI possui 13 bandas espectrais, que vão da faixa do visível, ou seja, do infravermelho próximo até o infravermelho de ondas curtas de 443 a 2202 nanômetros (nm), sendo as resoluções espaciais, quatro bandas de 10 metros, seis de 20 e três bandas de 60 metros, respectivamente. A resolução radiométrica é de 12 bits, com a imagem adquirida em intervalos de 0 a 4095 valores potenciais de intensidade da luz.

Inicialmente, para o pré-processamento das imagens sentinel2, as quatro cenas do sensor Multiespectral (MSI), com resolução espacial de 10 metros, foram pré-processadas com o algoritmo Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH), disponível no software ENVI 5.5, que requer uma série de dados de entrada referentes ao sensor, coletando nas cenas das imagens os dados atmosféricos: altitude do sensor, tamanho do pixel, data e horário da passagem do satélite e modelo de aerossol rural. As cenas foram corrigidas atmosféricamente, com os dados de radiância calibrados para reflectância de base da superfície (KAUFMAN *et al.*, 1997; MATTHEW *et al.*, 2000).

Processamento digital das imagens para o cálculo dos índices

Para estimar a variação da eficiência de concentração de dióxido de carbono na área de estudo foi utilizado o Índice de Sequestro Florestal de Carbono (CO₂Flux), que mede a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação, e é composto pela integração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI), conforme metodologia utilizada por Martins e Baptista (2013).

O Índice de Vegetação por diferença Normalizada-NDVI (ROUSE *et al.*, 1973) possibilita o mapeamento da vegetação fotossinteticamente ativa em uma determinada área (MARTINS e BAPTISTA, 2013), que é calculado conforme equação 1, a seguir:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

NIR: Banda espectral referente ao infravermelho próximo;

R: Banda espectral referente ao vermelho.

Os valores do NDVI variam entre -1 e +1, sendo os valores positivos mais próximos de 1 com maior reflectância na faixa verde, equivalendo a áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, e o oposto acontece com os valores mais próximos de -1, apresentando áreas com menos vegetação (SILVA NETO *et al.*, 2019). Ou seja, os valores mais próximos de 1, mais densa é a vegetação, e o valor 0 (zero) indica superfície não vegetada (ROSENDO, 2005).

Já o Índice de Vegetação Fotossintético - PRI (GAMON *et al.* 1997) representa a relação entre as bandas do verde e azul. Tem semelhança com a eficiência do uso da luz no processo fotossintético (RAHMAN *et al.*, 2000). Esse índice apresenta um intervalo de -1 a +1. É expresso na equação 2, a seguir:

$$RI = (R2 - R3) / (R2 + R3) \quad (2)$$

R: significa o valor de reflectância em cada comprimento de onda, e μm , da banda.

Após isso, este PRI necessita de um reescalonamento para evitar dados negativos. Dessa forma, foi gerado o Índice de Reflectância Fotoquímica reescalonado para valores positivo (sPRI; BAPTISTA, 2003), conforme equação 3, a seguir:

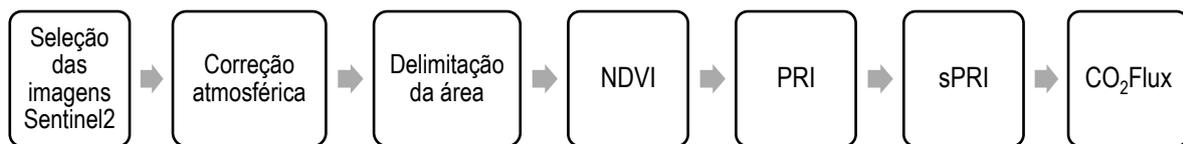
$$sPRI = (PRI + 1) / 2 \quad (3)$$

Feito isto, foi calculado o CO₂Flux através da multiplicação do NDVI e sPRI (RAHMAN *et al.*, 2000), cuja integração desses dois índices determinam a eficiência do processo de sequestro de carbono em uma escala de -1 a +1. Veja equação 4, a seguir:

$$CO_2\text{flux} = NDVI * sPRI \quad (4)$$

Em síntese, pode-se observar melhor o desenvolvimento das etapas da metodologia desta pesquisa, também utilizada pelos autores Soares Filho *et al.* (2018), conforme figura 02:

Figura 02 - Etapas do desenvolvimento metodológico da pesquisa



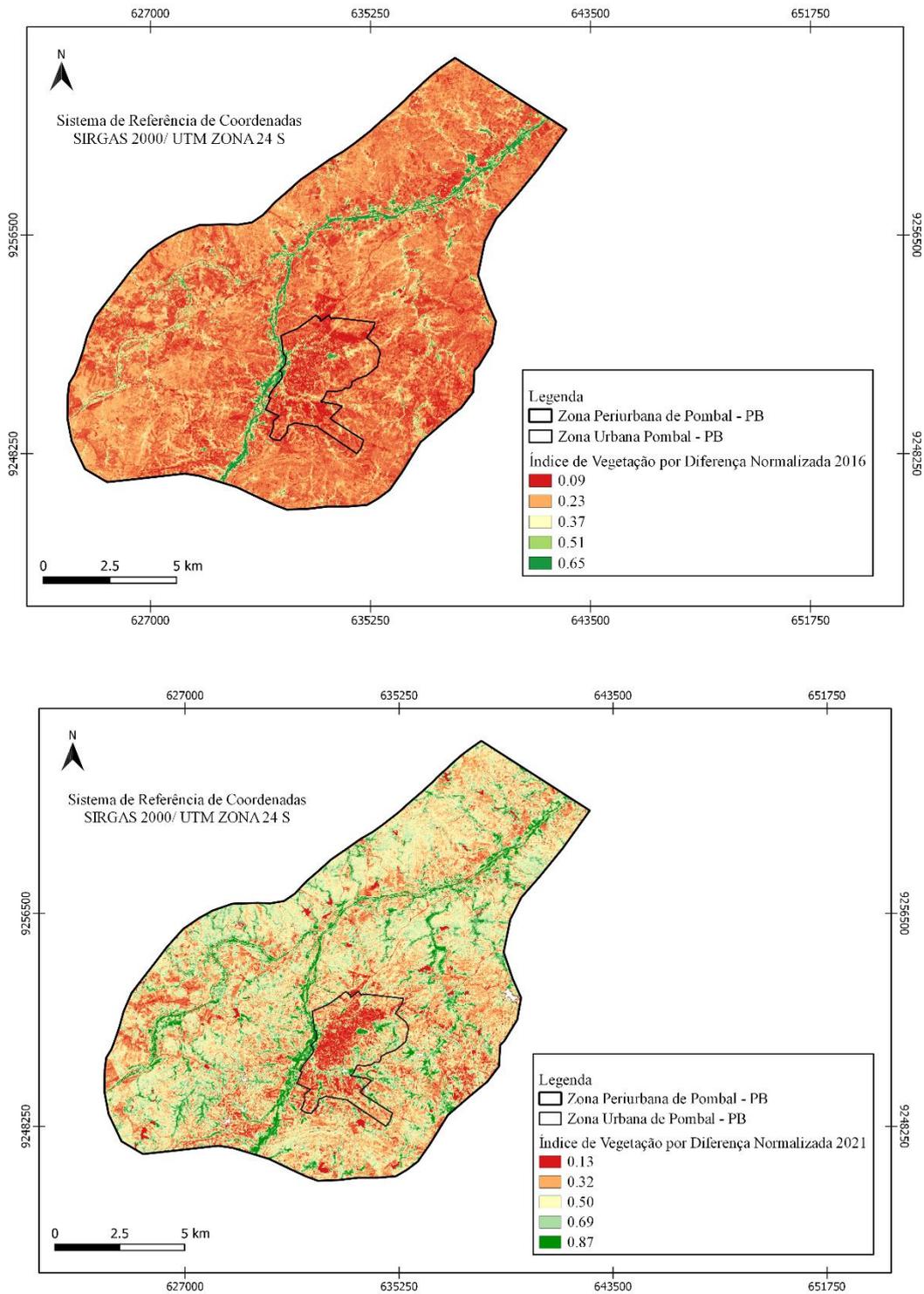
Fonte: Os autores, adaptado de Soares Filho *et al.* (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*- NDVI) para a área de estudo mostra uma variabilidade de cores para o recorte da área periurbana e urbana da cidade de Pombal-PB.

Ao analisar o mapa do NDVI (Figura 03) no período de estiagem das chuvas, no ano de 2016, pode-se dizer que os valores gerados variam de 0.09 a 0.65. Isto significa que os valores predominantes apresentaram grandes áreas sem vegetação (0.09 – 0.23), com presença de solo exposto, ou presença de vegetação de caatinga que tem características de caducifolia, um mecanismo de adaptação de deficiência hídrica em períodos de seca, fenologia que comprovam a perda quase total das folhas da maioria das espécies arbustivas e arbóreas, durante alguns meses do ano (SAMPAIO, 2010).

Figura 03 - Mapas de NDVI da área urbana e periurbana de Pombal-PB, dos anos de 2016 e 2021



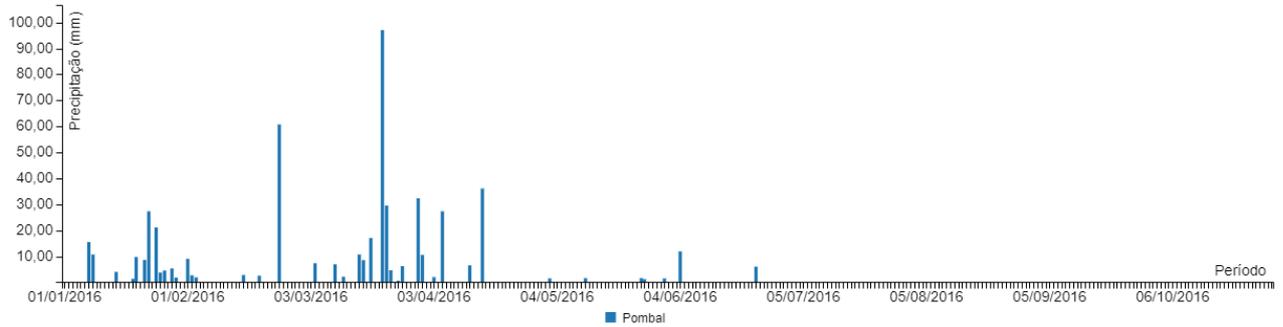
Fonte: Os autores (2021).

Segundo Bezerra *et al.* (2014), esses valores baixos podem ser representados pela presença de solo exposto, de pequenos aglomerados urbanos ou mesmo de áreas cobertas por vegetações caducifólias ralas que não se mantêm verde na estação seca. Isso ocorre devido às baixas precipitações

no período analisado, o qual também foi observado por Lins *et al.* (2017) nesse mesmo ano no semiárido Pernambucano.

Esse dado vai ao encontro das precipitações de chuvas no município de Pombal, conforme se pode ver no gráfico 01, no qual o registro de chuvas anual foi irrisório, chegando à máxima de 96,800 mm no mês de março, e nenhuma precipitação para o mês de julho, data de análise do NDVI.

Gráfico 01 - Precipitação pluviométrica mensal no ano de 2016, em Pombal-PB



Fonte: AESA (2021).

Os valores do NDVI (0.51 – 0.65), representados no mapa em tonalidades verde claro e verde escuro, são áreas sugestivas com presença de vegetação preservadas se comparadas com os valores menores. Essas áreas aparentemente com presença de densidade vegetal foram constatadas *in loco* na área urbana, com a existência do Rio Piancó, que corta as margens da cidade de Pombal (Figura 04), e, de acordo com a figura 03, uma faixa em tonalidade verde escuro cortando as margens do limite urbano. Esses valores corroboram o que foi encontrado por Barbosa *et al.* (2017) nas áreas de vegetação ciliar ao estudar a aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre no Estado do Rio Grande do Norte.

Figura 04 - Rio Piancó que adentra o limite da cidade de Pombal-PB



Fonte: Os autores (2021).

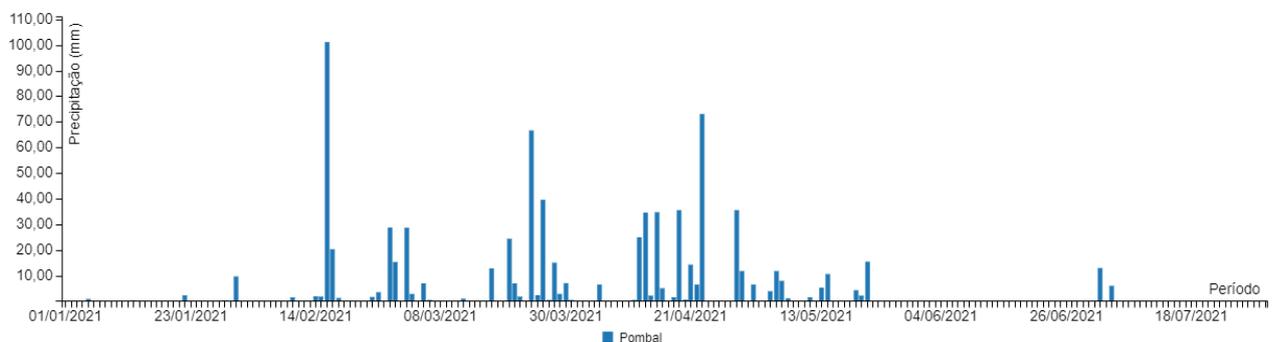
Destaca-se que, por ser um rio perene mesmo no período de seca, ele se mantém com água e há as matas ciliares verdes o ano inteiro. Contudo, observa-se na figura 04 que apenas uma das margens do rio está preservada. O estudo realizado por Lacerda *et al.* (2010) em áreas ribeirinhas no semiárido paraibano questiona o cenário de degradação da vegetação ribeirinha e a preocupação com a manutenção das funções ecológicas desempenhadas pelas matas ciliares, demonstrando a necessidade de ações destinadas para sua conservação ou para sua recuperação.

Diferentemente do NDVI do ano de 2016, ao analisar este índice para o ano de 2021, período de chuvas, é observado que os resultados são bastante discrepantes. Nota-se uma variabilidade dos valores, que variam entre 0.13 a 0.87 (Figura 03), destacando a predominância das tonalidade laranja e amarelo claro, sendo áreas sugestivas de resiliência natural da vegetação de caatinga no período de chuvas.

Pode-se notar no mapa (figura 03), na área periurbana, a predominância dos valores (0.32 – 0.50), provavelmente sendo a manifestação de gramíneas e arbustivas de pequeno porte; e as tonalidades em cores verde claro e verde escuro (0.69 – 0.87), há a presença mais densa de vegetação, com destaque para as Áreas de Preservação Permanente-APP no entorno do rio Piancó, bem como os pequenos fragmentos de vegetação conservados.

Ao relacionar esses valores com os dados de precipitação do mesmo ano de 2021 (Gráfico 02), observa-se que houve meses, que antecedem o mês analisado na imagem, com uma incidência maior de chuva, em comparação ao ano de 2016, o que influencia totalmente na vegetação da caatinga, e consequentemente nos valores do NDVI.

Gráfico 02 - Precipitação pluviométrica mensal no ano de 2021, em Pombal-PB



Fonte: AESA (2021).

Através da comparação entre um período seco e um chuvoso, é possível observar a influência da precipitação na dinâmica da vegetação do bioma caatinga, o que pode ser visto pela diferença nos valores de NDVI, que se apresentam elevados para os períodos chuvosos, indicando uma maior atividade fotossintética da vegetação, enquanto que para os períodos de baixa precipitação, apresentam

valores reduzidos, ampliando a área com baixa atividade fotossintética, seja pela ausência de folhagem (dossel decíduo), seja pela presença de solos expostos (SILVA; BARBOSA, 2021).

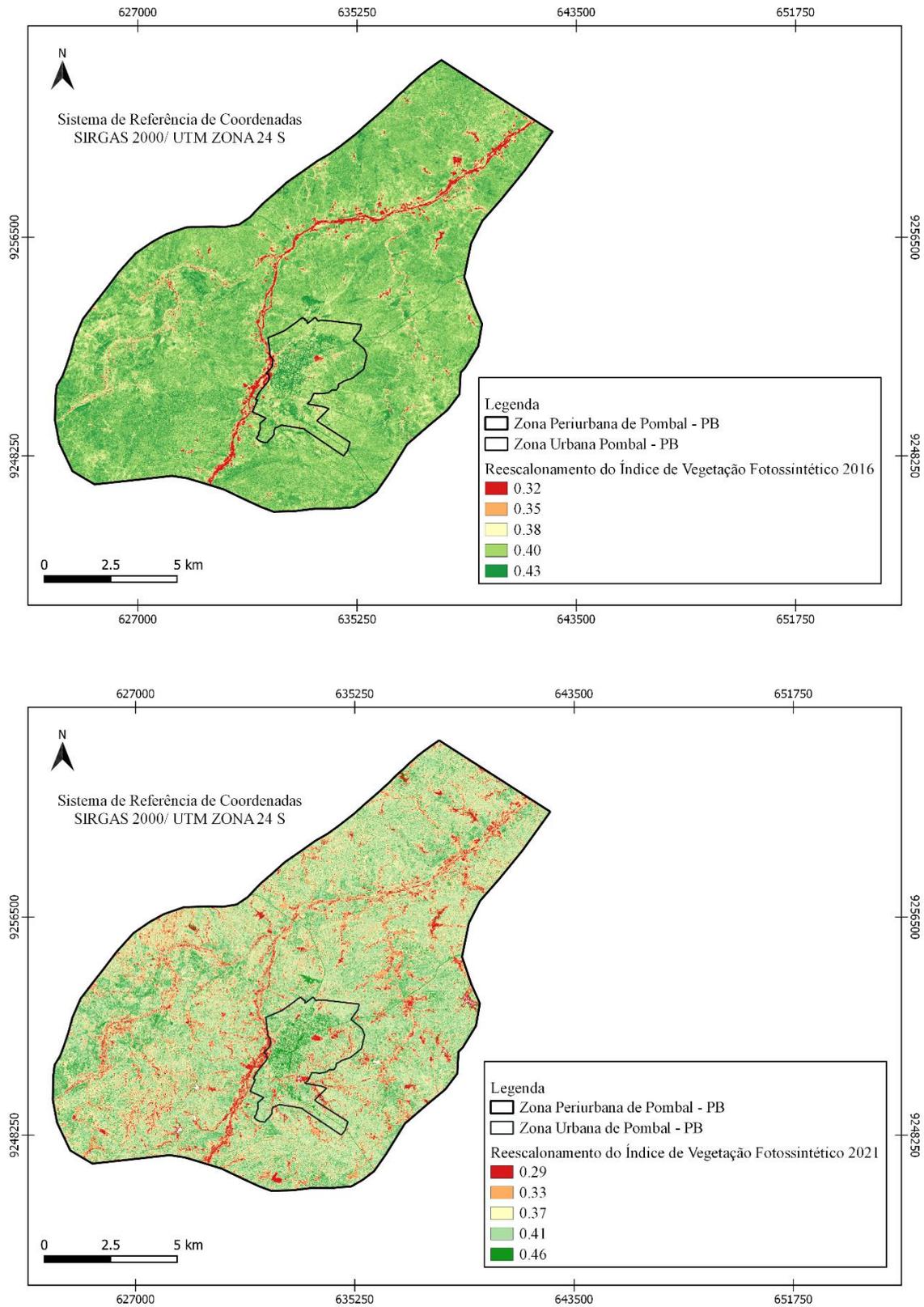
Ao analisar o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI), que apresenta a absorção de radiação através da vegetação/folhas, segundo Gamon *et al.* (1997), o índice é inversamente proporcional à captação de luz, ou seja, os valores mais próximos de zero indicam maior eficiência da vegetação no emprego da luz no processo de fotossíntese. Pode-se observar na área estudada a predominância de valores mais próximos de 1 (variando entre 0,32 a 0,43), significando processo fotossintético reduzido (Figura 05).

Para se estocar maiores quantidades de carbono, necessita-se da utilização eficiente de radiação e mais processos fotossintéticos, ou seja, requer florestas e matas mais densas, absorvendo radiação e realizando fotossíntese. Comparando os dados do ano de 2016 com os de 2021, observou-se que ocorreu um aumento na absorção de radiação (0,32 e 0,29) respectivamente, logo, houve o aumento no processo fotossintético, possivelmente por existir maior diversidade vegetal no ano de 2021 comparado ao ano de 2016, influenciado pelo aumento das precipitações (Figura 05).

Diante destas análises, foi possível obter uma estimativa do índice CO₂Flux para os anos de 2016 (imagem do período de estiagem) e de 2021 (imagem do período de chuvas), na qual os valores variam entre 0,04 a 0,19 para o ano de 2016 (Figura 06). O valor máximo obtido (0,19) está relacionado às áreas que apresentam vegetação na área urbana de Pombal, que expressa a existência do trecho do Rio Piancó que adentra o limite urbano, ou seja, que apresentam maior captura de carbono. Soares Filho *et al.* (2018) enfatiza a relevância da conservação da vegetação como fator benéfico à absorção de CO₂, realizada no processo fotossintético pela vegetação natural presente na área estudada e identificada com o índice CO₂Flux ao apresentar valores positivos.

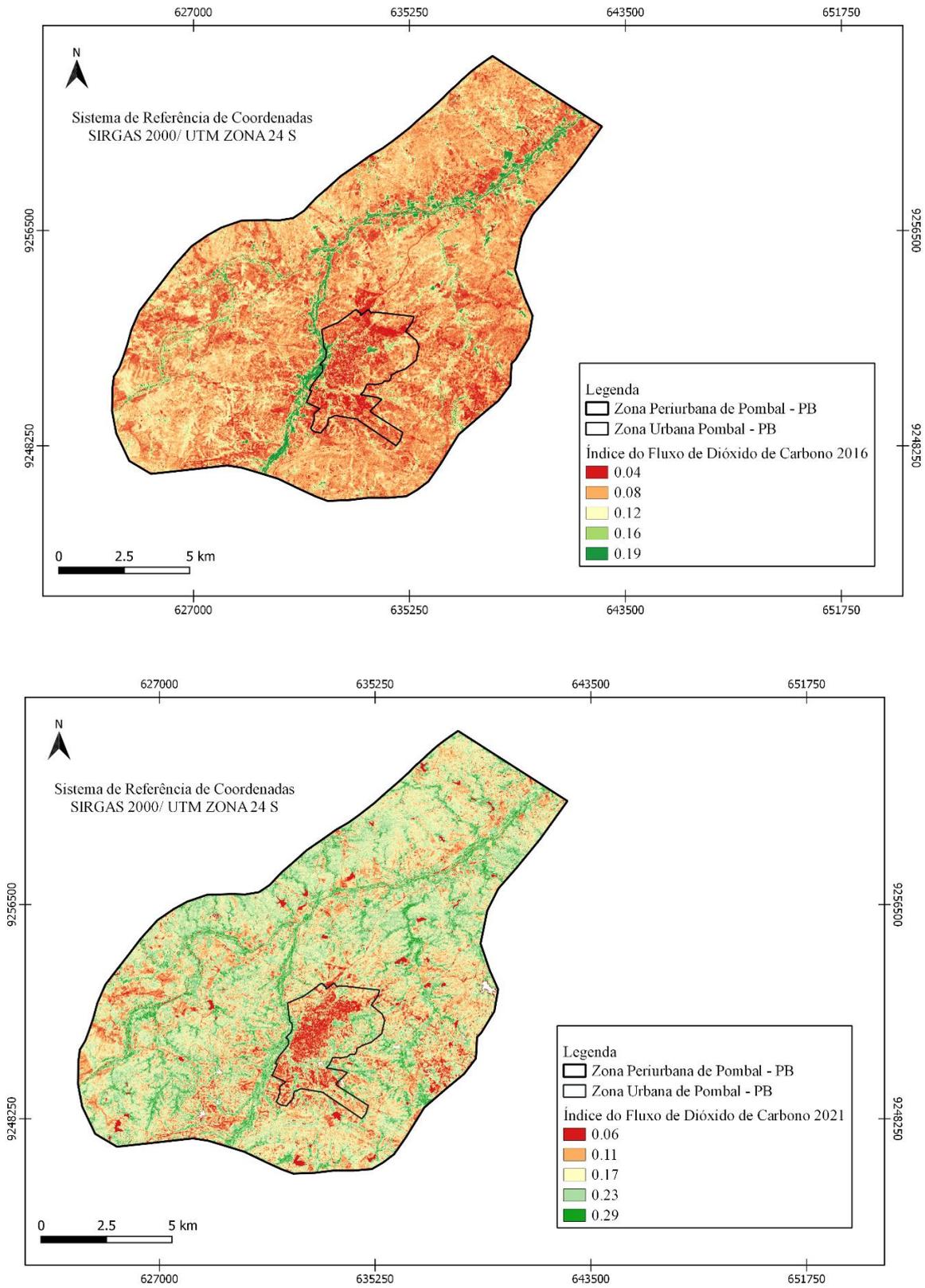
Neste trabalho, pontua-se fortemente a importância de conservação deste rio, uma vez que, conforme estudo realizado por Moraes *et al.* (2016), o rio Piancó, em Pombal, vem sendo degradado por atividades antrópicas, como a retirada da vegetação, o que provoca alterações nas formações vegetais naturais, substituição da vegetação clímax pela secundária, perda de resiliência e reduzido potencial de seu processo de regeneração natural.

Figura 05 - Mapas de Índice de Vegetação Fotossintético-PRI da área urbana e periurbana de Pombal-PB, dos anos de 2016 e 2021



Fonte: Os autores (2021).

Figura 06 - Mapas de CO₂ Flux da área urbana e periurbana de Pombal-PB, dos anos de 2016 e 2021



Fonte: Os autores (2021).

Ressalta-se a importância de preservação da vegetação ciliar por apresentar-se verde durante todo o ano e por ser uma barreira contra os fatores naturais e desordens antrópicas. Pelegrini (2021) enfatiza que proteger essas áreas nas cidades, além de conservar os recursos ambientais, atenua os desequilíbrios térmicos, a prevenção de desastres e a melhoria da qualidade de vida da população. Além disso, as Área de Preservação Permanente - APP são protegidas pela Lei 12.651/2012, sendo definida em seu art. 3º, inciso II como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Para o ano de 2021, este índice apresenta valores que variam entre 0,06 a 0,29, como demonstrado na Figura 06. Isto se deve ao fato de que a precipitação pluviométrica no período analisado ocasionou a mudança nas características do bioma e, conseqüentemente, a fenologia da vegetação, o que influencia no aumento de sequestro de carbono neste período (GOMES *et al.*, 2021). Este resultado foi semelhante ao encontrado no estudo realizado por Andrade *et al.* (2023) ao analisar o fluxo de CO₂ Flux em um dos distritos analisados no município de São Gonçalo/RJ, no qual as taxas variaram entre -0,06 e 0,30. Segundo os autores, esse distrito possui uma menor ocupação urbana e uma maior densidade de vegetação.

Em trabalho realizado por Caetano *et al.* (2022), na Caatinga, no Semiárido Baiano, são mostrados resultados semelhantes, ou seja, na estação chuvosa, as áreas que possuem maior atividade vegetativa e, portanto, fotossintética, apresentam valores mais elevados para o fluxo de carbono (variando entre de 0,15 a 0,30). Na Paraíba, também se obteve resultado semelhante em estudo efetuado por Gomes *et al.* (2021), em que explicam que isso ocorre devido às plantas xerófilas arbustivas e arbóreas reconstituírem sua área foliar na estação chuvosa, tendo, assim, um aumento de sequestro de carbono, sendo parte deste elemento captado da atmosfera e utilizado em diversos processos vitais do vegetal. Esse resultado também foi encontrado em Avila (2023) em trabalho na Caatinga no Ceará, indicando que o sequestro de carbono realizado pela vegetação é mais eficiente no período de inverno.

Silva *et al.* (2018) observou, em seu estudo de potencial de sequestro de carbono na bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim em Sorocaba (SP), que os valores mais baixos de CO₂ Flux indicam a diversidade de cobertura e o uso e ocupação do solo. Já para as áreas urbanas, o índice geralmente apresenta valores negativos, ou seja, são pobres em valores de estoque de carbono. Depreende-se que há uma variação sazonal nos fluxos de CO₂ conforme os tipos de vegetação existentes na área, o qual foi visto também em estudo realizado na Caatinga por Santos (2017).

Estudo realizado por Baptista (2004) mostra que há concentração elevada de CO₂ nas colunas de ar próximos aos alvos urbanos, fenômeno recorrente em cidade conhecido como domos urbanos de CO₂.

Diante disso, de acordo com Silva *et al.* (2019), faz-se de extrema importância a conservação de florestas urbanas, pois elas podem ser utilizadas para mitigar as mudanças no clima tanto em escala micro quanto em escala regional. São vários os benefícios de ambientes florestados. Buckeridge (2015) enfatiza os serviços ecossistêmicos das árvores para a cidade, atuando como sequestro de carbono, assim como na melhoria do ar da cidade mais fresco, úmido e menos poluído.

A zona periurbana da cidade de Pombal possui predominância de solo exposto e pouca presença de vegetação., além da existência de atividades antrópicas bastante comuns no semiárido, como a agricultura e a pecuária extensiva, atividades que predominam nesta região. Segundo Morais *et al.* (2017), as áreas antropizadas apresentaram assimilação total e sequestro de carbono menor, uma vez que a antropização pode acabar degradando essas áreas e, com isso, mudar a composição e a fisionomia da vegetação, o que afeta diretamente o índice de área foliar e a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida.

Conforme Folharini e Oliveira (2017), os valores CO₂Flux sugerem a diversidade da cobertura vegetal, absorvendo menos CO₂ de acordo com seu porte. Os autores complementam que os valores CO₂Flux próximos a rios, além de apontarem a concentração de carbono na vegetação, apontam que ajudam na estabilidade do solo contra o impacto da água no solo quando drenada pelo sistema radicular da vegetação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram, através da análise espaço-temporal dos anos de 2016 e 2021 com base na análise dos índices de NDVI, PRI e CO₂Flux da área urbana e periurbana de Pombal-PB, que há uma influência maior na absorção de carbono no ano de 2021 em comparação ao ano de 2016, haja vista que foi influenciado pela incidência maior de chuvas, afetando a vegetação e, conseqüentemente, a absorção de carbono pelas plantas.

Quando se analisa o limite urbano, percebe-se que os valores de CO₂Flux não apresentam uma variação significativa, ou seja, é perceptível que a área urbana da cidade estudada não tem uma taxa eficiente de sequestro de carbono. Contudo, os valores apresentados de CO₂ são provenientes da pouca vegetação existente no entorno do Rio Piancó que margeia a cidade, o que foi constatado *in loco* com a presença de alguns trechos preservados, enquanto outros já estavam desmatados, bem como a presença de cultivos.

Portanto, os valores mais baixos de CO₂Flux indicam a diversidade de vegetação e os diferentes usos e ocupação do solo, sendo que, para o período de seca na Caatinga, o índice apresentou-se baixo, ou seja, são pobres em valores de estoque de carbono.

Desse modo, este estudo enfatiza a importância da conservação de vegetação para a vitalidade dos recursos naturais, principalmente nas áreas urbanas para a permanência e bem-estar do homem no Semiárido diante das mudanças climáticas, assim como dá ênfase a esta temática e incentiva o desenvolvimento de políticas públicas para proteger o meio ambiente e conscientizar a sociedade acerca da relevância da proteção dos espaços verdes urbanos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais-PPGSA/UFCG. À parceria do professor DSc. Adelson Soares Filho, da Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD no desenvolvimento do projeto. Ao laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar-CCTA/UFCG – Campus Pombal-PB.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G. C. N.; SANTOS, G. S.; MATOS, E; F. P.; CARDOSO, P. V. Análise do índice CO₂flux em Áreas de Preservação Ambiental em São Gonçalo-RJ. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 11, n. 22, p. 86-103, 2023. DOI: <https://doi.org/10.51308/continentes.v1i22.415>. Acesso em: 20 de jun. 2023.
- ANA. Agência Nacional do Águas. *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó Piranhas-Açu: resumo executivo*/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/25340e2e-22df-435f-ab38-c3aff85afe9f> Acesso em: 28 de mar. 2024.
- AVILA, T. D. *Créditos verdes em ambiente de Caatinga no nordeste brasileiro - estudo de caso no assentamento rural Croatá-Jandaíra, Russas – CE.7 f.* Monografia (Graduação- curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2023.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. *Meteorologia-chuvas-gráfico*. 2021. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=150&date_chart_init=2021-07-01&date_chart=2021-07-31&period=personalizado Acesso em: 02 de nov. 2021.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. *Meteorologia-chuvas-gráfico*. 2016. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=150&date_chart_init=2021-11-01&date_chart=2021-11-16&period=personalizado Acesso em: 02 de nov. 2021.
- ALMEIDA, J. R. R.; ROCHA, K. S. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI, e CO₂flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra. *Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, Jardim, MS, 20 a 24 de outubro 2018, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 985-994, 2018.
- ABREU, I. *Área periurbana norte de Teresina (PI): reconfigurações espaciais e mudanças na vida de seus moradores*. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. 179p. Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29366> Acesso em: 6 jul. 2021.

ARTAXO, P. Mudanças climáticas e o Brasil. *Dossiê Clima. Revista USP*, n. 103, p. 8-12, 2014.

ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L.; EL-DEIR, A. C. A. *et al.* Caatinga Revisited: Ecology and Conservation of an Important Seasonal Dry Forest. *The Scientific World Journal*, p. 1-18, 2012.

BARBOSA, A.H.S; CARVALHO, R.G; CAMACHO, R.G.V. Aplicação do NDVI para a Análise da distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo*, v. 33, p. 128-143, 2017. Disponível em: www.revistas.usp.br/rdg. Acesso em: 10 jun. 2023.

BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do Seqüestro de Carbono e de Domos Urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral. *GEOGRAFIA*, v. 29, n. 2, pp. 189-202, 2004.

BAPTISTA, G. M. M. Validação da Modelagem de Seqüestro de Carbono para ambientes tropicais de Cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 1037-1044, 2003. Disponível em: http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.07.21.45/doc/10_002.pdf Acesso em: 31 mar. de 2021.

BEZERRA, J.M; MOURA, G.B.A; SILVA, B.B; LOPES, P.M.O; SILVA, E.F.F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.1, p.73-84, 2014. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 06 nov. de 2021.

BUCKERIDGE, M. S. Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água. *Estudos Avançados*, v.29, n.84, p.85-101, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200006>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

CAETANO, R; SILVA, T.B.; BENFICA, N. S.; CASTRO, D. R. Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 8, n. 2, p.28-43, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26864>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

DIAS, E. M. S.; PESSOA, Z. S. Percepções sobre os riscos das mudanças climáticas no contexto da região semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente, Edição especial - Sociedade e ambiente no Semiárido: controvérsias e abordagens*, v. 55, p. 619-643, 2020.

FOLHARINI, S.O; OLIVEIRA, R. C. Cálculo do Índice Espectral CO₂Flux em área de Mata Atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. In: *Geotecnologias e Modelagem Espacial em Geografia Física*, v.1, E-book, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbqfa.v1i2017.2175>

GOMES, D.S; SANTOS, S.K; SILVA, J.H.C.S; SANTOS, T.M; SILVA, E.V; BARBOSA, A.S. CO₂flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.04, p.1898-1908, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p1898-1908>

Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030. *Relatório Luz da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável Síntese*. 2020. Disponível em: https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2020/08/por_rl_2020_web-1.pdf Acesso em: 29 de abril, 2021.

GARIGLIO, M. A, SAMPAIO, E. V. S. B. S, CESTARO LAC, KAGEYAMA, P. Y. *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga*. Ministério do Meio Ambiente. Publicado pelo Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, 2010.

GAMON, J. A.; SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels.

Oecologia, v.112, n.4, p. 492-501, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s004420050337>.

Acesso em: 20 de jun de 2023.

GRUPO DE TRABALHO DA SOCIEDADE CIVIL PARA A AGENDA 2030. *VII Relatório Luz da Sociedade Civil da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável Brasil*. 2023. Disponível em: https://gtagenda2030.org.br/wp-content/uploads/2023/10/rl_2023_webcompleto-v9.pdf Acesso em: 30 de mar. de 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *População*. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pombal/panorama> Acesso em: 03 de set. de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malha de Setores Censitários*. 2020. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa223106> Acesso em: 03 de set. de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Território e Ambiente*. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pombal/panorama> Acesso em: 03 de set. de 2021.

IPCC, 2023: Resumo para decisores políticos. In: *Mudanças Climáticas 2023: Relatório Síntese*.

Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Equipe Central de Redação, H. Lee e J. Romero (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, pp. 1-34, DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>. Acesso em: 20 de mar. de 2024.

KISTEMANN, T.; ZERBE, S.; SÄUMEL, I.; FEHR, R. Stadtgrün und Stadtblau im Klimawandel. *Gesundheitswesen*, v. 85, n.5, p.296–303, 2023.

KAUFMAN, Y., WALD A, REMER, L, GAO, B, GAO, B, RONG_RONG Li, FLYNN, L. The MODIS 2.1-mm Channel-Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosol. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. v. 35, pp. 1286-1298, 1997.

LINS, F.A.C; ARAÚJO, D.C.S; SILVA, J.L.B; LOPES, P.M.O; OLIVEIRA, J.D.A; SILVA, A.T.C.S.G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no Semiárido Pernambucano utilizando sensoriamento remoto. *Irriga, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI*, p. 64-75, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p64-75>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

LACERDA, A.V.; BARBOSA, F.M.; SOARES, J.J.; BARBOSA, M.R.V. Flora arbustiva-arbórea de três áreas ribeirinhas no semiárido paraibano, Brasil. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, 2010. Disponível em: <https://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/pt/abstract?inventory+bn01810042010>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

MARTINS, L. N.; BAPTISTA, G. M. M. Análise Multitemporal do Sequestro Florestal de Carbono no Projeto de Assentamento Carão, Acre. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, n.6, p.1648-1657, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20130045>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

MATTHEW, M. W, ADLER-GOLDEN, S. M, BERK, A, RICHTSMEIER, S. C, LEVINE, R.Y, BERNSTEIN, L.S, ACHARYA, P.K, ANDERSON, G. P, FELDE, G. W, HOKE, M. P, RATKOWSKI, A.J, BURKE, H-H. K, KAISER, R.D, MILLER, D.P. Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm. *SPIE Proceedings, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VI*. v. 4049, pp. 199-207, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/12.410341>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

MEDEIROS, L.; SOBRAL, A. A análise da arborização urbana no centro da cidade de Pombal (PB). In: *Anais do I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade e III Congresso Internacional da Diversidade do semiárido*. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editions/anais/conimas-econidis/2019/TRABALHO_EV133_MD1_SA52_ID276_02112019143925.pdf Acesso em: 6 de nov. 2021.

MENESES, P.R. Princípios de Sensoriamento Remoto. In: MENESES, P.R., ALMEIDA, T. (Orgs.) *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento remoto*. E-book. UNB/CNPq, Brasília, 2012. 1-33p.

MORAIS, Y. C. B; ARAÚJO, M.S.V; MOURA, M.S.B; GALVÍNCIO, J.D; MIRANDA, R.Q. Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de*

- Meteorologia*, v. 32, n. 4, 585-599, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786324007>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.
- MORAIS, M.A.; ISMAEL, L.L.; GARCIA, H.R.M; SILVA, G.F. Caracterização da degradação ambiental de uma área de mata ciliar do rio Piancó em Pombal-PB. In: DIAS, N. S. et al. (Orgs.) *Meio ambiente e desenvolvimento sustentável no semiárido*. Mossoró: EdUFERSA, 2016. p.536-544. (Coleção agroecologia e meio ambiente no semiárido, v. 1) ISBN: 978-85-5757-043-6
- MONZONI, M. *Diretrizes para formulação de Políticas Públicas em Mudanças Climáticas no Brasil*. Observatório do Clima e Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP/FGV, 2009.
- NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. *Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas*. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.
- ONU. Organização das Nações Unidas. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil, 2015.
- OLIVEIRA, G. de; ARAÚJO, M. B.; RANGEL, T. F.; et al. Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. *Biodivers Conserv*, v. 21, p. 2913–2926, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0346-7>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.
- PELEGRINI, M. S. Áreas de Preservação Permanente urbanas e análise de Inundações no município de São Carlos - aplicação do Código Florestal brasileiro no córrego do Monjolinho. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 4, n. 3, p. 3003-3017, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-019>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.
- RAHMAN, A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. *Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS Imagery*. AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000. Disponível em: https://aviris.jpl.nasa.gov/proceedings/workshops/00_docs/Rahman_web.pdf Acesso em: 01 de abr. de 2021.
- ROCHA, D. S. *Análise dos impactos ambientais na vegetação de caatinga causados pela urbanização no município de Pombal-PB*. 2022. 35p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2022.
- ROSENDO, J. S. *Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis*. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005.
- ROUSE, J. W. HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM. *Annals*, v. 3, n.309-317, 1973.
- SANTOS, C. V. B.; BAPTISTA, G. M. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, A. B.; FRANCA-ROCHAD, W. J. S.; CARVALHO, H. F. S.; GALVÍNCIO, J. D. Validação de um modelo espectral para determinação de fluxos de CO₂ em áreas do Bioma Caatinga. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 08, n. 03, p. 226-239, 2023.
- SANTOS, C.V.B. *Modelagem espectral para determinação de fluxo de CO₂ em áreas de caatinga preservada e em regeneração*. Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2017.
- SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, M. T.; FIGUEIREDO, K. V. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? *Theor. Exp. Plant Physiol*, v.26, p.83–99, 2014. DOI <http://dx.doi.org/10.1007/s40626-014-0008-0>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.
- SAMPAIO, E. V.S.B. Características e Potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. M.; KAGEYAMA, P. Y. (Orgs.) *Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-48.
- SANTOS, M. *A natureza do espaço*. Técnica e tempo. Razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 2002.

- SILVA, W. T. C.; BARBOSA, H. A. Avaliação da precipitação na produtividade agrícola da cana-de-açúcar: estudo de caso usina Coruripe para as safras de 2000/2005. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.03, p.1352-1366, 2021. ISSN: 1984-2295.
- SILVA NETO, J. O.; VIEIRA, L. F.; SIQUEIRA, L. E. L.; OLIVEIRA, V. P. V. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental nos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí –Ceará, Brasil. *Revista GeoUECE (Online)*, v. 08, n. 14, p. 273-283, 2019. ISSN 2317-028X.
- SILVA, E. M. F.; BENDER, F., MONACO, M. L. S., SMITH, A.K, SILVA, P, BUCKERIDGE, M.S, ELBL, P.M., LOCOSSELLI, G.M. Um novo ecossistema: florestas urbanas construídas pelo Estado e pelos ativistas. *Estudos Avançados*, v.33, n. 97, p.81-101, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3397.005>
- SILVA, C.V.S., SILVA, J. L. B., MOURA, G. B. A., LOPES, P. M. O., NASCIMENTO, C. R., SILVA, L. C. Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. *Nativa, Sinop*, v. 7, n. 6, p. 708-717, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7646>
- SILVA, D. C. C.; MATOS D; OLIVEIRA, R.A; SIMONETTI, V.C; LOURENÇO, R.W. Avaliação do potencial de sequestro de carbono na bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim em Sorocaba (SP). In: TULLIO, L. (Org.) *Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2*. Ponta Grossa/PR: Atena Editora, v.2, 2018. p.80-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.482180110>
- SILVA, S.C.P., BAPTISTA, G.M.M. Análises espectrais da vegetação com dados Hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO₂ em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. *BCG - Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 21, n. 2, p.354-370, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702015000200020>
- SOUSA, G.L; RODRIGUES, M.H.B.S; BAROSSO, R.F; BARBOZA, J.B; FERNANDES, A.V.F. Percepção sobre qualidade da arborização urbana da cidade de Pombal, Paraíba, *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.13, n. 3, p. 343-347, 2018. Disponível em <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5688>.
- SOARES FILHO, A.; FARINHA, M. J. U. S.; BERNARDO, L.V. M.; RUVIARO, C. F. Estimativa da eficiência do sequestro de carbono em vegetação natural de uma Unidade de Conservação, usando dados de imagens Cbers-4 em Jardim – MS. In: *Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS, 2018*. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 210-219, 2018. Disponível em: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/Anais-Geopantanal/pdfs/p34.pdf> Acesso em: 31 de mar. De 2021.