

Análise espaço-temporal do sequestro de carbono na microrregião do Brejo Paraibano, Paraíba, Brasil

Spatio-temporal analysis of carbon sequestration in the micro-region of Brejo Paraibano, Paraíba, Brazil

Análisis espacio-temporal del secuestro de carbono en la microrregión del Brejo Paraibano, Paraíba, Brasil

Jean Oliveira Campos - jean.oliveira@academico.ufpb.br
Doutorando em Geografia - UFPB
<https://orcid.org/0000-0002-2874-754X>

Antônio Marques Carneiro - tonymarque@gmail.com
Mestre em Ecologia e Conservação - UEPB
<https://orcid.org/0000-0002-6248-3971>

Guilherme Oliveira Campos - guilhermeolicam@gmail.com
Graduando em Ciências Biológicas – UEPB
<https://orcid.org/0000-0002-3207-582X>

Márcio Balbino Cavalcante - marcio.balbino@academico.ufpb.br
Doutor em Geografia - UFPB
Professor da Universidade
<https://orcid.org/0000-0002-6144-4399>

Resumo

No contexto do Brejo Paraibano, a Mata Atlântica tem sido fragmentada desde a instalação das primeiras atividades econômicas, interferindo diretamente no sequestro de carbono. Assim, o estudo teve como objetivo avaliar a distribuição espaço-temporal do sequestro de carbono no Brejo Paraibano, nos períodos seco e chuvoso, entre 2019 e 2021. Para tanto, com o uso de imagens orbitais, foi executado o Índice CO₂flux, posteriormente, os resultados foram classificados em capacidades de sequestro de carbono: Área não fotossintética (ANF), Fluxo baixo, Fluxo médio e Fluxo alto. O fluxo de carbono variou entre os anos, sendo os valores mais favoráveis identificados em 2021, 2020 e 2019, respectivamente. No período chuvoso, o Fluxo alto chegou a ocupar 86,23% da microrregião, enquanto, no período seco, apenas 39,45%, associado diretamente aos fragmentos florestais. Nesses períodos, a ANT também mostrou alteração em termos de área, ocupando 0,20% no primeiro, e somente 0,11% no segundo. Essa conjuntura

demonstra a influência do período chuvoso na região e evidencia a contribuição dos fragmentos florestais para a manutenção do sequestro de carbono no período seco.

Palavras-chave: Mata Atlântica, Brejo Paraibano, Fluxo de carbono, Índice CO₂flux.

Abstract

In the Brejo Paraibano region, the Atlantic Forest has been fragmented since the first economic activities were established, directly interfering with carbon sequestration. The aim of this study was to evaluate the spatio-temporal distribution of carbon sequestration in Brejo Paraibano during the dry and rainy periods between 2019 and 2021. For this purpose, using orbital images, the CO₂flux Index was carried out, and the results were then classified into carbon sequestration capacities: Non-photosynthetic area (NPA), Low flux, Medium flux and High flux. The carbon flux varied between the years, with the most favorable values identified in 2021, 2020 and 2019, respectively. In the rainy season, the High Flux occupied 86.23% of the micro-region, while in the dry season, only 39.45%, directly associated with forest fragments. During these periods, the NPA also changed in terms of area, occupying 0.20% in the first period and only 0.11% in the second. This shows the influence of the rainy season in the region and highlights the contribution of forest remnants to maintaining carbon sequestration in the dry season.

Key words: Atlantic Forest, Brejo Paraibano, Carbon flux, CO₂flux Index.

los fragmentos de bosque. En estos períodos, el ANF también mostró cambios en términos de área, ocupando 0,20% en el primer período y sólo 0,11% en el segundo. Esta situación demuestra la influencia de la estación lluviosa en la región y muestra la contribución de los fragmentos forestales al mantenimiento del secuestro de carbono en la estación seca.

Palavras-chave: Mata Atlântica, Brejo Paraibano, Flujo de carbono, Índice CO₂flux.

Recebido em: 27/05/2024

Aceito: 04/07/2024

Publicado: 04/08/2024

Resumen

En Brejo Paraibano, la Mata Atlántica ha sido fragmentada desde el establecimiento de las primeras actividades económicas, lo que interfiere en el secuestro de carbono. Por lo tanto, el estudio tuvo como objetivo evaluar la distribución espacio-temporal del secuestro de carbono en Brejo Paraibano, en los períodos seco y lluvioso entre 2019 y 2021. Para ello, utilizando imágenes orbitales, se realizó el Índice CO₂flux y los resultados se categorizaron en capacidades de secuestro de carbono: Área No Fotosintética (ANP), Flujo Bajo, Flujo Medio y Flujo Alto. El flujo de carbono varió entre los años, identificándose los valores más favorables en 2021, 2020 y 2019, respectivamente. En la estación lluviosa, el flujo alto alcanzó el 86,23% de la microrregión, mientras que en la estación seca, sólo el 39,45%, asociado directamente a

1 Introdução

As florestas exercem papel fundamental na ciclagem do carbono, em razão de atuarem como sumidouros, promovendo, assim, o serviço ecossistêmico de sequestro de carbono. Trata-se da taxa líquida de carbono atmosférico adicionado na biomassa vegetal e que contribui para desacelerar as mudanças climáticas (DAVID *et al.*, 2022; HEINRICH *et al.*, 2023; MEIRA *et al.*, 2020). Mediante a demanda pela identificação de áreas de sequestro de carbono, especialmente nos países em desenvolvimento, em virtude das políticas de carbono, diversos métodos tem sido utilizados no mapeamento dessas áreas, especialmente para selecionar as áreas proeminentes e lançar mão de estratégias para manutenção das mesmas (HOLMBERG *et al.*, 2019; MO *et al.*, 2023; RABE *et al.*, 2016).

As imagens orbitais aparecem como um importante subsídio para análises relacionadas ao sequestro de carbono por parte da vegetação, e entre os métodos utilizados, encontra-se o índice CO₂flux, que resulta da integração entre o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI), e permite a localização e distinção de diferentes capacidades da vegetação para sequestrar carbono (CAMPOS; LIMA; COSTA, 2023; SILVA *et al.*, 2023; SILVA; LACERDA, 2021). A técnica também permite a identificação de perdas e ganhos no potencial de sequestro no tempo e no espaço, e expõe como os valores espectrais são influenciados por variáveis atmosféricas, a exemplo da chuva, em virtude de ambos os índices utilizados no processo estarem relacionados à atividade da vegetação durante o processo de fotossíntese e estocagem da biomassa (AMARAL; BAPTISTA; BEZERRA, 2020; GOMES *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2018).

Em meio à paisagem semiárida no Nordeste do Brasil ocorrem áreas elevadas, que apresentam chuvas orográficas, solos desenvolvidos e maior umidade durante o ano, os Brejos de Altitude (MEDEIROS; CESTARO, 2019; VASCONCELOS SOBRINHO, 1971). Devido à maior umidade, possuem condições ecológicas que favorecem a manutenção da Floresta Estacional Semidecidual, uma das fisionomias florestais da Floresta Atlântica (CARNEIRO *et al.*, 2021; MEDEIROS; CESTARO, 2019; PEREIRA FILHO *et al.*, 2020).

Os Brejos de Altitude no Nordeste brasileiro estão, ainda, ligados às feições

geomorfológicas (BÉTARD; PEULVAST; SALES, 2007; GOIS; CORRÊA; MONTEIRO, 2019). Na Paraíba, essas áreas estão associadas ao Planalto da Borborema, onde as altitudes elevadas funcionam como barreiras orográficas para os ventos úmidos, esse fenômeno resulta em totais pluviométricos anuais superiores em relação às áreas circundantes (ARRUDA *et al.*, 2022; ARTIGAS; SOUZA; LIMA, 2022; RODAL *et al.*, 2005).

Em função da maior disponibilidade hídrica e clima mais ameno, os brejos são submetidos à fragmentação da cobertura florestal nativa (MEDEIROS *et al.*, 2017; PEREIRA FILHO *et al.*, 2020). Tal distúrbio ambiental ocorre em decorrência das atividades econômicas instaladas na região desde a ocupação da área, a exemplo da agricultura, pecuária e do extrativismo vegetal (HADDAD *et al.*, 2015; JACKSON; FAHRIG, 2013; VANCINE *et al.*, 2024). As atividades promoveram uma descaracterização das formações vegetais dos brejos, resultando em um mosaico com diferentes usos da terra, fragmentos vegetais com diferentes idades e níveis de regeneração (CAMPOS; CAMPOS; CAVALCANTE, 2024; MAYO; FEVEREIRO, 1982; VANCINE *et al.*, 2024). Essas características são observadas de forma nítida na microrregião do Brejo Paraibano.

As microrregiões geográficas são conjuntos contíguos de municípios e foram estabelecidas por suas especificidades em termos de produção agropecuária, industrial, extrativista mineral e pesqueira, além disso, informações do quadro ambiental e socioeconômico foram inseridas nessa divisão (IBGE, 1990, 2017). Nesse contexto, a microrregião do Brejo Paraibano foi identificada na borda úmida oriental do Planalto da Borborema, onde a altitude propicia um clima úmido, que por sua vez, converge para um relevo dissecado, solos profundos e presença de formações florestais da Mata Atlântica. Adicionalmente, os plantios de cana-de-açúcar, a expansão da pecuária e o êxodo rural se apresentam como características da região (ARRUDA *et al.*, 2022; IBGE, 1990; SOUSA; PEREIRA, 2016).

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo avaliar a distribuição espaço-temporal do sequestro de carbono na microrregião do Brejo Paraibano, estado da Paraíba, nos períodos seco e chuvoso dos anos de 2019, 2020 e 2021. Tal medida se faz necessária diante dos quadros de degradação ambiental que os Brejos de Altitude têm experimentado, uma vez que permite discutir estratégias para a conservação dos remanescentes florestais e elencar

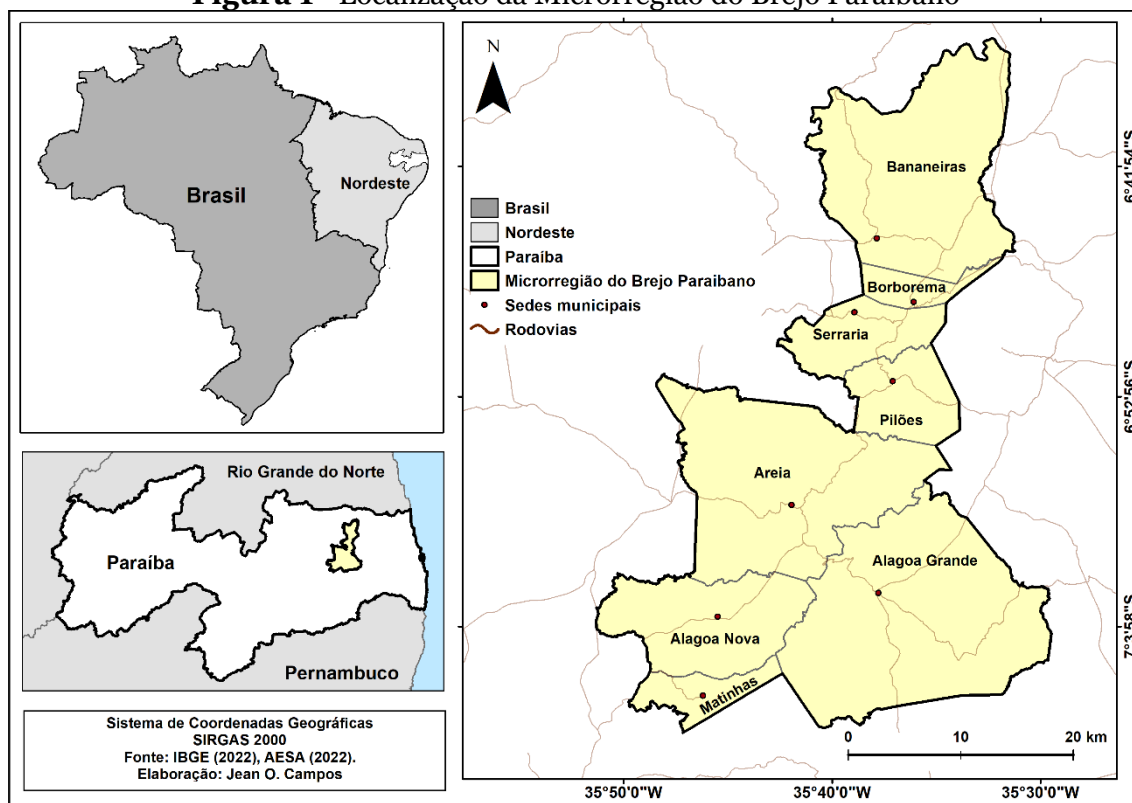
medidas para a manutenção da oferta do sequestro de carbono.

3 Material e métodos

3.1 Área de estudo

A microrregião do Brejo Paraibano está assentada na borda úmida do Planalto da Borborema, e constitui a área de interesse do presente estudo (Figura 1), é formada por oito municípios: Alagoa Grande, Alagoa Nova, Areia, Bananeiras, Borborema, Matinhas, Pilões e Serraria, compreendendo um território de 1.202,1 km², onde se distribui a população de 113,3 mil habitantes (IBGE, 2023). A economia, por sua vez, é baseada na agropecuária e turismo. A microrregião ainda conta com duas unidades de conservação estaduais, o Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, em Areia, e a Área de Relevante Interesse Ecológico de Goiamunduba, no município de Bananeiras (ARRUDA *et al.*, 2022; CAMPOS; LIMA, 2020).

Figura 1 - Localização da Microrregião do Brejo Paraibano



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.2 Material e instrumentos

Nas etapas desenvolvidas foram utilizados os seguintes itens: a. Imagem

CAMPOS, Jean Oliveira *et al.* Análise espaço-temporal do sequestro de carbono na microrregião do Brejo Paraibano, Paraíba, Brasil. **Boletim Alfenense de Geografia**. Alfenas. v. 4, n.7, p. 64-87, 2024. ISSN: 2764-1422.

do satélite Sentinel – 2, sensor MSI, adquirida gratuitamente na plataforma *Sentinel Hub* (Quadro 01) e; b. Base cartográfica do estado da Paraíba no formato *shapefile* adquirida gratuitamente no Portal de Mapas do IBGE.

Quadro 01 – Informações técnicas das imagens orbitais utilizadas

Satélite	Sensor	Nível	MGRS	Data	Fonte	Período
Sentinel - 2	MSI	2A	24MZT	24/11/2019	<i>Sentinel Hub</i>	Seco
Sentinel - 2	MSI	2A	24MZT	25/08/2020	<i>Sentinel Hub</i>	Final do período chuvoso
Sentinel - 2	MSI	2A	24MZT	26/06/2021	<i>Sentinel Hub</i>	Chuvoso

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O processamento das imagens ocorreu por meio dos *Softwares ArcGIS 10.2*[®] e *MATLAB R2021*[®], ao passo que o tabelamento se deu por intermédio do *Microsoft Office Excel*[®].

4.2.2 Procedimentos metodológicos

De início, as imagens orbitais adquiridas foram reprojetaadas para Sistema de Coordenadas Planas, no *datum* SIRGAS 2000 e zona 25S, e recortadas para a respectiva área de estudo, em seguida, as bandas de interesse foram manuseadas para a aplicação das equações referentes aos índices. Em termos técnicos, o mapeamento do sequestro de carbono foi realizado por meio do índice CO₂flux, que mede a eficiência do referido sequestro por parte da vegetação (BAPTISTA, 2004; RAHMAN *et al.*, 2000). O CO₂flux é obtido a partir da integração entre os seguintes índices de vegetação: NDVI e PRI reescalonado para valores positivos, o sPRI. Para o cálculo do NDVI utilizou-se a Equação 1 proposta por Rouse *et al.* (1973) e Tucker (1979):

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (01)$$

Onde:

ρ_{IVP} = Reflectância na banda no infravermelho próximo;

ρ_V = Reflectância na banda do vermelho.

No cálculo do índice PRI foi utilizada a Equação 2, proposta por Gamon,

Serrano e Surfus (1997):

$$PRI = \frac{(B - G)}{(B + G)} \quad (02)$$

Onde:

G = A reflectância da faixa do verde;

B = A reflectância da faixa do azul.

Visando a integração, o PRI necessita ser reescalonado para valores positivos, gerando o sPRI (*Scaled Photochemical Reflectance Index*), assim, o procedimento de reescalonamento foi realizado por meio da Equação 3 (AMARAL; BAPTISTA; BEZERRA, 2020; BAPTISTA, 2004):

$$sPRI = \frac{(PRI + 1)}{2} \quad (03)$$

Onde:

PRI = Índice de Reflectância Fotoquímica.

Diferente do NDVI, os menores valores de sPRI, isto é, próximos de 0, indicam as áreas de vegetação mais efetivas no uso da luz, enquanto os números mais próximos de 1 ressaltam a vegetação degradada ou solo exposto (AMARAL; BAPTISTA; BEZERRA, 2020; SILVA; LACERDA, 2021). A estimativa do sequestro de carbono foi gerada através da Equação 4, proposta por Rahman *et al.* (2000):

$$CO_2flux = sPRI * NDVI \quad (04)$$

Onde:

sPRI = Índice de Reflectância Fotoquímica reescalonado para valores positivos;

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.

Após a geração dos arquivos *raster* com as informações dos índices, foi estabelecido um transecto linear no sentido norte-sul, dentro do qual foram coletados todos os valores de pixel nas imagens de NDVI, sPRI e CO₂flux. Em seguida, as imagens de CO₂flux, referentes aos três períodos, foram manuseadas no *MATLAB* para elaboração de gráfico *boxplot*, no intuito de observar a média e

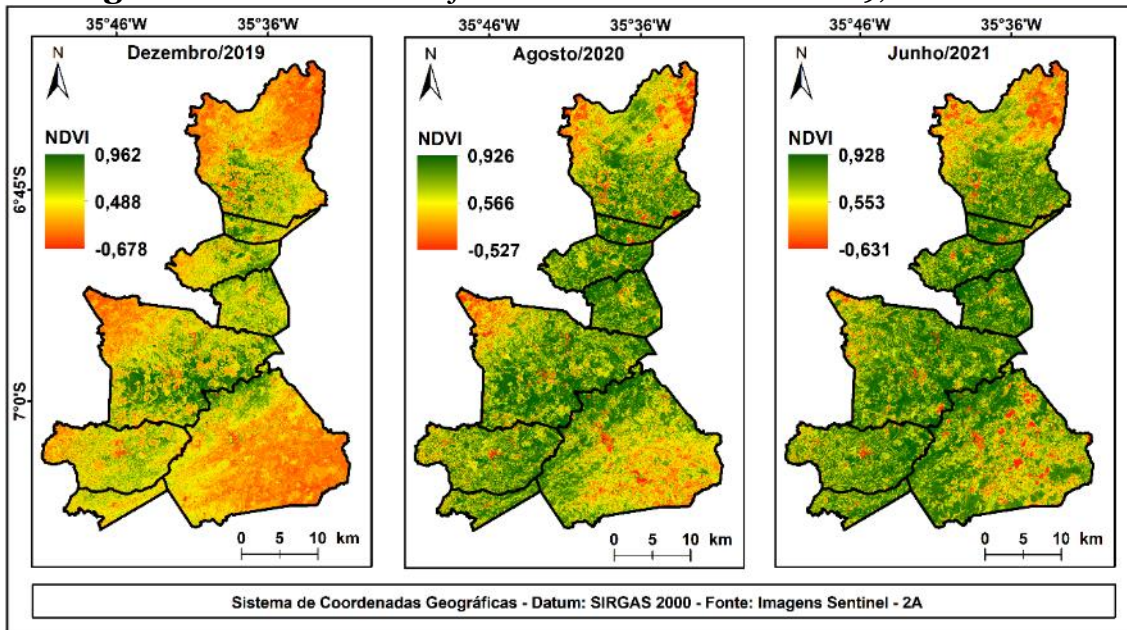
a mediana dos pixels. Posteriormente, foi lançado um transecto norte-sul na microrregião considerada para coletar os pixels de NDVI e CO₂flux nos três períodos e submetê-los a uma regressão linear simples no *Excel*[®], para observar correlações.

Posteriormente, com base na proposta adotada por Silva e Lacerda (2021), as imagens de CO₂flux foram reclassificadas a partir dos valores de pixel, obedecendo às classes: Área Não Fotossintética (ANF) (até 0,019), incluindo corpos hídricos e afloramentos rochosos; Fluxo baixo (0,019 a 0,156), abrangendo solo exposto e pastagens degradadas; Fluxo médio (0,156 a 0,200), sendo uma classe complexa, no período seco engloba áreas em estágios sucessionais iniciais, e nos meses chuvosos vem designar, também, vegetação temporária e pastagens em regeneração e; Fluxo alto (0,200 a 0,44), no período seco essa classe abriga os fragmentos florestais, enquanto nos meses sob influência da chuva, passa a definir também as áreas com vegetação temporária emergente, pastagens e áreas agrícolas. Por fim, foram extraídos e tabulados os percentuais de área coberta por cada classe de fluxo de carbono na microrregião do Brejo Paraibano.

4 Resultados e discussão

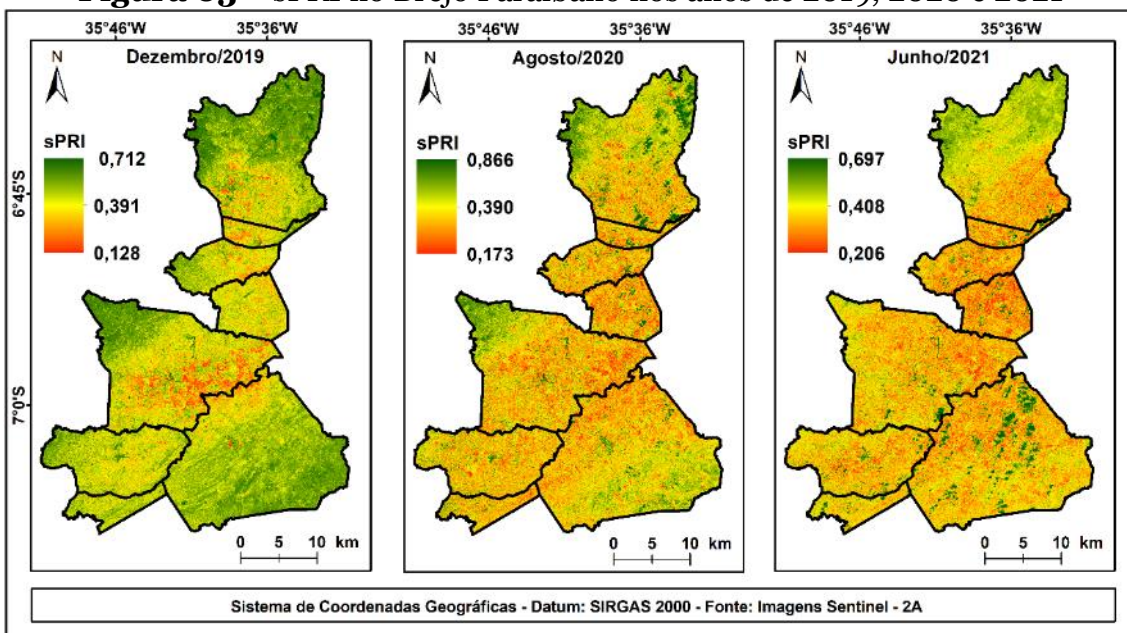
A espacialização do NDVI para o mês de dezembro de 2019, referente ao período seco, mostra que os maiores valores obtidos estão distribuídos no corredor que se forma entre os municípios de Areia e Bananeiras, indicando maior concentração de biomassa fotossinteticamente ativa ou vigor da vegetação verde (COLTRI *et al.*, 2013; ROUSE *et al.*, 1973; SILVA *et al.*, 2018). Em contrapartida, os menores valores se manifestam ao leste de Alagoa Grande, noroeste de Areia e na faixa norte de Bananeiras (Figura 02), compreendendo diferentes densidades e estados de conservação da vegetação (AQUINO *et al.*, 2018; PEÑUELAS; GARBULSKY; FILELLA, 2011).

A imagem indicativa do mês de agosto, por sua vez, evidencia um quadro diferente de disposição, uma vez que, os maiores valores do índice encontram maior distribuição espacial, ocorrendo em áreas antes caracterizadas por valores negativos. Uma condição semelhante é vista para o ano de 2021, onde se observa que os números mais altos estão amplamente distribuídos nos municípios, em detrimentos dos valores negativos, que apresentaram notório recuo.

Figura 02 – NDVI no Brejo Paraibano nos anos de 2019, 2020 e 2021

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

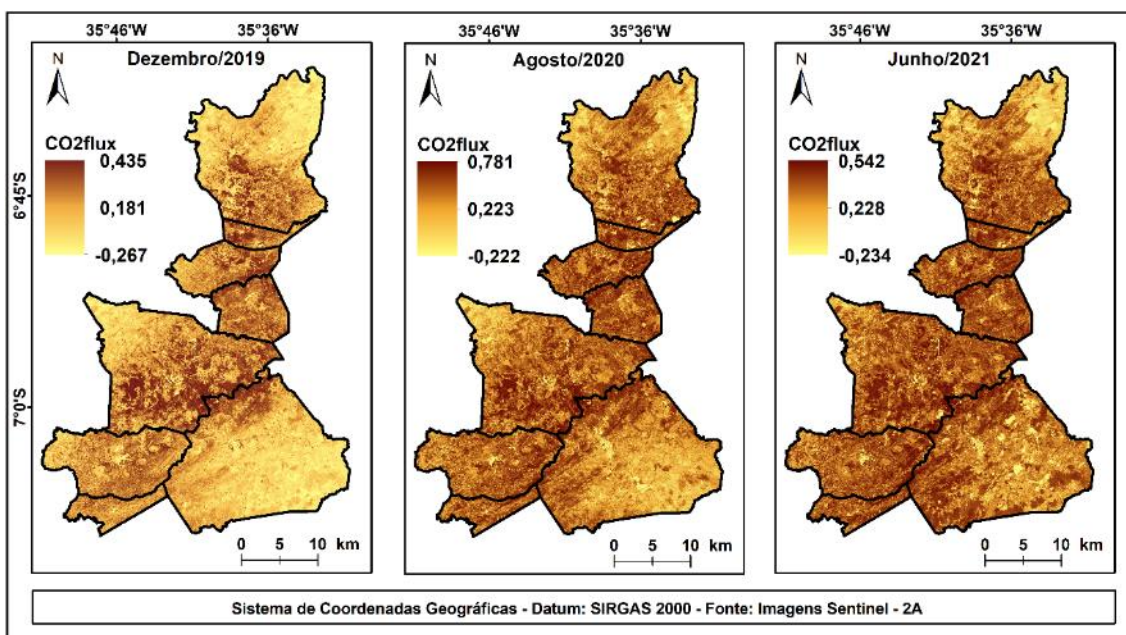
Observando-se os valores de sPRI para a área de estudo, nota-se uma conjuntura próxima à indicada pelo NDVI, as porções da vegetação mais efetivas no uso da luz se dispõem no corredor, e assim, as áreas com menor atividade se apresentam nas bordas municipais, porções em que se materializam números acima de 0,300 (Figura 03). Do mesmo modo, a espacialização demonstra que os valores mais próximos de zero estão diretamente relacionados às massas florestais densas, como pode ser percebido em Areia.

Figura 03 – sPRI no Brejo Paraibano nos anos de 2019, 2020 e 2021

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A espacialização do CO₂flux na microrregião do Brejo Paraibano mostra de forma nítida, a variação no índice durante os meses considerados (Figura 04). Para o mês de dezembro, tem-se um recuo das áreas sequestradoras de carbono, as porções com maior atividade ficam restringidas aos fragmentos de floresta consolidados em áreas protegidas ou encostas, com destaque aos municípios de Areia, Alagoa Grande, Pilões, Serraria, Borborema e Bananeiras. Nesses espaços, torna-se pronunciada a atividade das massas florestais na ciclagem do carbono, dado que são responsáveis pelos números mais expressivos no período seco. As manchas sem vegetação ou deterioradas estão circunscritas nos perímetros já identificados por meio do NDVI e sPRI nos municípios de Alagoa Grande, Areia e Bananeiras.

Figura 04 – CO₂flux no Brejo Paraibano nos anos de 2019, 2020 e 2021



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os valores mais elevados apresentam maior distribuição espacial quando se observa as imagens de 2020 e 2021, pronunciando, dessa forma, a influência do período chuvoso no sequestro de carbono. Nessas imagens, nota-se uma retração das manchas sem atividade verificadas no ano de 2019, em detrimento da expansão das áreas de atividade da vegetação em todos os municípios, especialmente devido ao crescimento de pastagens, culturas agrícolas e aumento do vigor da vegetação nativa. Para o mês de dezembro, o índice varia entre -0,267

e 0,435, ao passo que, no mês de junho tem-se uma faixa de -0,234 e 0,542, por fim, para o mês de agosto, a variação se denota entre -0,222 a 0,781. Dentro do quadro registrado, os maiores números são encontrados no mês de agosto, porém, avaliando-se a espacialização nos três meses, verifica-se que ocorreu uma expansão mais expressiva das áreas de sequestro no mês de junho, em meados do período chuvoso.

Essa conjuntura demonstra a influência da sazonalidade nos números obtidos, posto que, o período chuvoso exerce influência sobre o NDVI, acarretando repercussões sobre os valores de CO₂flux (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017; GAMON *et al.*, 2015).

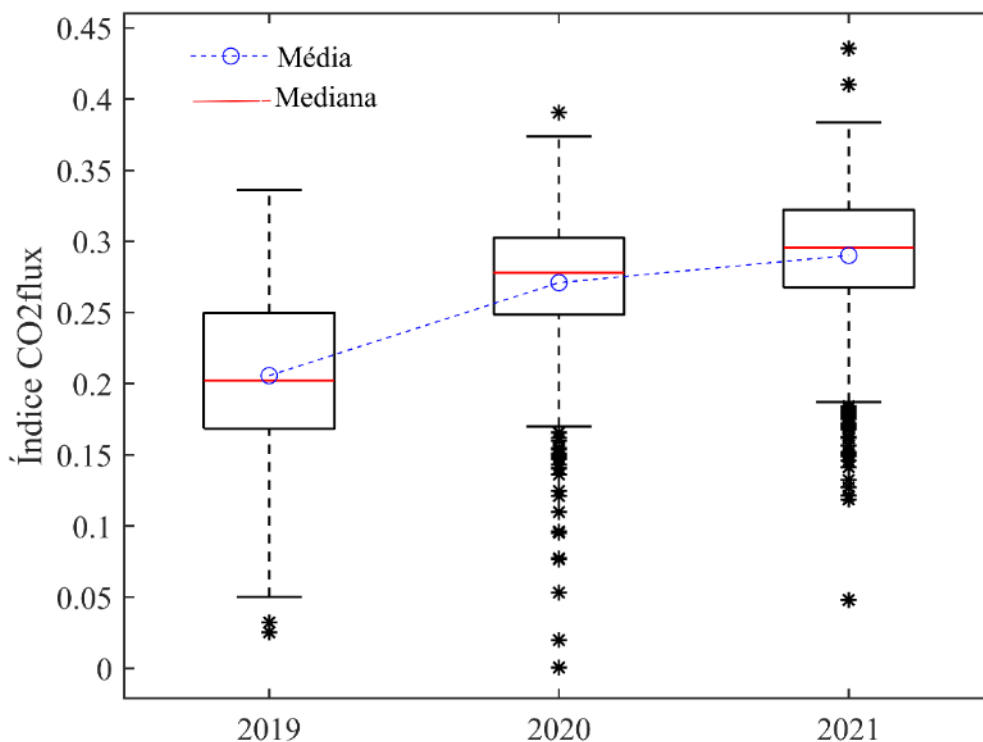
Resultados semelhantes para o CO₂flux foram observados para áreas florestais densas em diversos municípios do Brasil. Na Mata Atlântica, Castanheira, Landim e Lourenço (2014) verificaram valores acima de 0,50 para a maior parte da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA), no município de Rio Claro, estado de São Paulo, por outro lado, Folharini e Oliveira (2017) registraram valores entre 0 e 0,43 para áreas florestais no município de Cubatão, enquanto Silva *et al.* (2018) obtiveram valores próximos a 0,31 para remanescentes densos no município de Sorocaba, ainda em São Paulo, os quais os autores classificaram como indicativos de baixo sequestro de carbono.

Considerando os números manifestados para outros ambientes do território nacional, constata-se que há semelhanças com as faixas de valores registradas para a microrregião do Brejo Paraibano evidenciando, assim, capacidades próximas no que diz respeito ao sequestro de carbono. Além disso, resultados semelhantes também foram constatados para os valores de sPRI e NDVI nos referidos estudos, sustentando a relação entre os mesmos e o CO₂flux.

Por meio da dinâmica dos valores de pixels dos arquivos de CO₂flux no Brejo Paraibano, é possível observar que o CO₂flux do ano de 2019 exibiu uma média de 0,206, mediana de 0,202 e quartis entre 0,05 e 0,33, no ano seguinte, tem-se valor médio de 0,27, mediana de 0,28 e os quartis entre 0,17 e 0,37 (Figura 05). Por fim, no ano de 2021, o índice apresentou média de 0,29, mediana de 0,30 e quartis entre 0,19 e 0,38. As médias e medianas se posicionaram de forma próxima nos três anos em questão, ao mesmo tempo em que houve crescimento nas duas cenas seguintes. Tal condição demonstra que os valores médios e

medianos não apresentam diferenças abruptas entre os períodos, mesmo com a influência do período chuvoso.

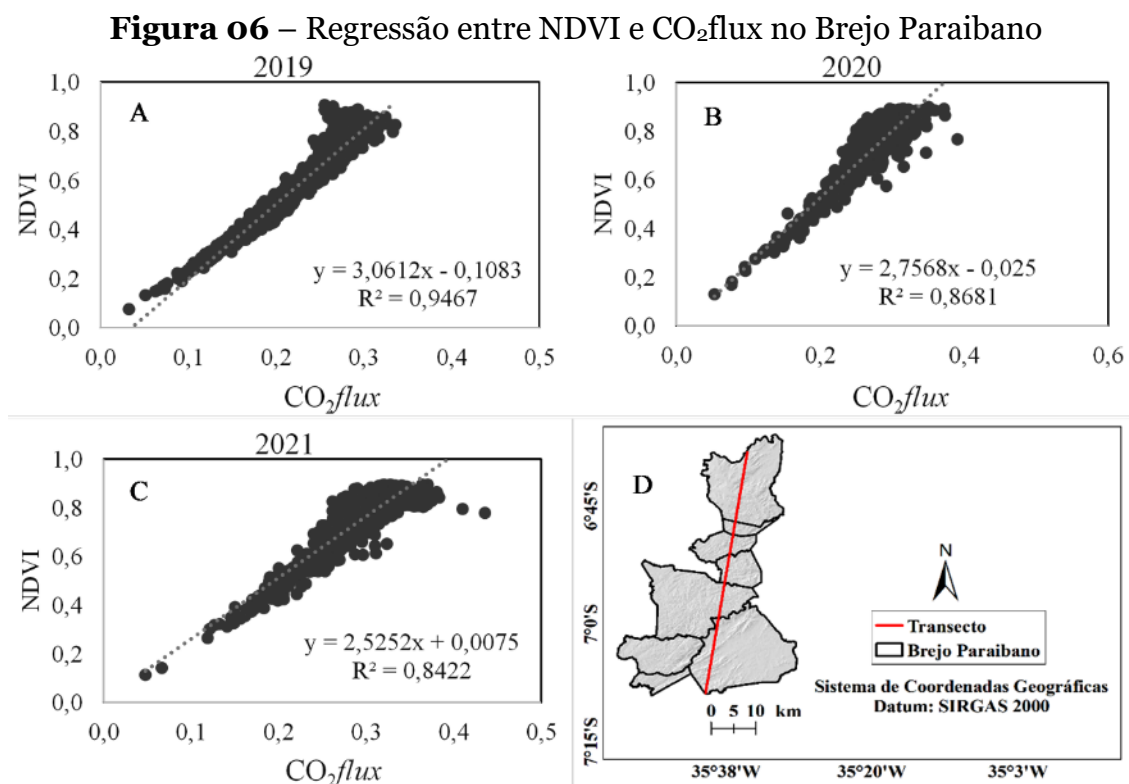
Figura 05 – Média e mediana do CO₂flux no Brejo Paraibano nos três períodos



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Uma regressão entre os valores de pixels de CO₂flux e NDVI do transecto norte-sul, para os anos considerados, evidenciou uma forte correlação (Figura 06). Assim, quanto maiores os números do NDVI, maior serão os valores de CO₂flux na área em questão. O período seco apresentou maior correlação em comparação com os demais períodos, que por seu turno, sofrem influência direta das chuvas, nesses termos, o período chuvoso afeta diretamente a correlação entre os índices.

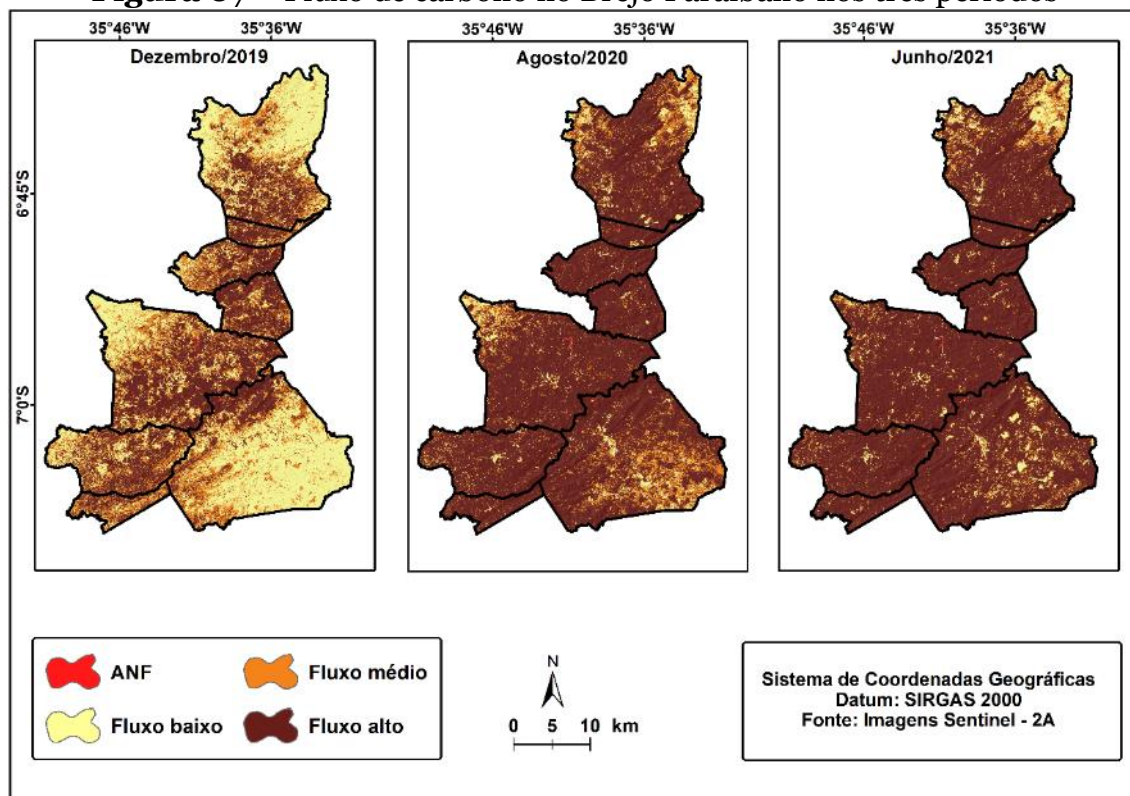
A configuração exibida na correlação revela o potencial do NDVI para identificação de fluxos de carbono na paisagem, com isso, na impossibilidade de execução do índice CO₂flux, o mesmo pode servir de referência nas análises que busquem o mapeamento de áreas sequestradoras de carbono.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Em relação ao fluxo de carbono, a partir das três cenas consideradas, se observa maior destaque para as classes de “Fluxo baixo” e “Fluxo alto” (Figura 07). A primeira tem notória distribuição em 2019 e redução nos demais anos, ao passo que, a segunda, se mantém como classe predominante nas cenas seguintes, além de experimentar crescimento. A Tabela 01 apresenta área coberta por cada classe de fluxo nos respectivos anos. A classe de “Área não Fotossintética” (ANF), compreende, dentre outros elementos, os corpos d’água, e representou o menor percentual de área nos três anos.

A classe seguinte, “Fluxo baixo” cobriu pouco mais de 37% da área em 2019, e apresentou percentual menor do que 8% na sequência, abrangendo as áreas de vegetação temporária ou espontânea (agricultura, pastagem). Seguindo esse comportamento, a classe de “Fluxo médio” apresentou 22,85% no período seco e sofreu diminuição posteriormente, não ultrapassando 13,5%, abrigando os espaços em que a vegetação se encontra em estágios iniciais de regeneração.

Figura 07 – Fluxo de carbono no Brejo Paraibano nos três períodos

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Por outro lado, outra dinâmica foi observada para a área de “Fluxo alto”, que representa os fragmentos florestais nativos, enquanto nas demais foi registrado um decréscimo nos anos da sequência, nessa classe em questão, houve crescimento. Cobriu 39,45% da região em 2019, e chegou a ocupar os percentuais de 82,22 e 86,23%, em 2020 e 2021, respectivamente.

Tabela 01 – Área coberta pelas classes de fluxo de carbono nos três períodos

Ano	2019		2020		2021	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
ANF	233,31	0,20	184,31	0,16	134,69	0,11
Fluxo baixo	43.925,82	37,50	7.195,83	6,14	7.514,44	6,42
Fluxo médio	26.768,12	22,85	13.447,21	11,48	8.483,49	7,24
Fluxo alto	46.210,39	39,45	96.310,29	82,22	101.005,02	86,23
Total	117.137,64	100	117.137,64	100	117.137,64	100

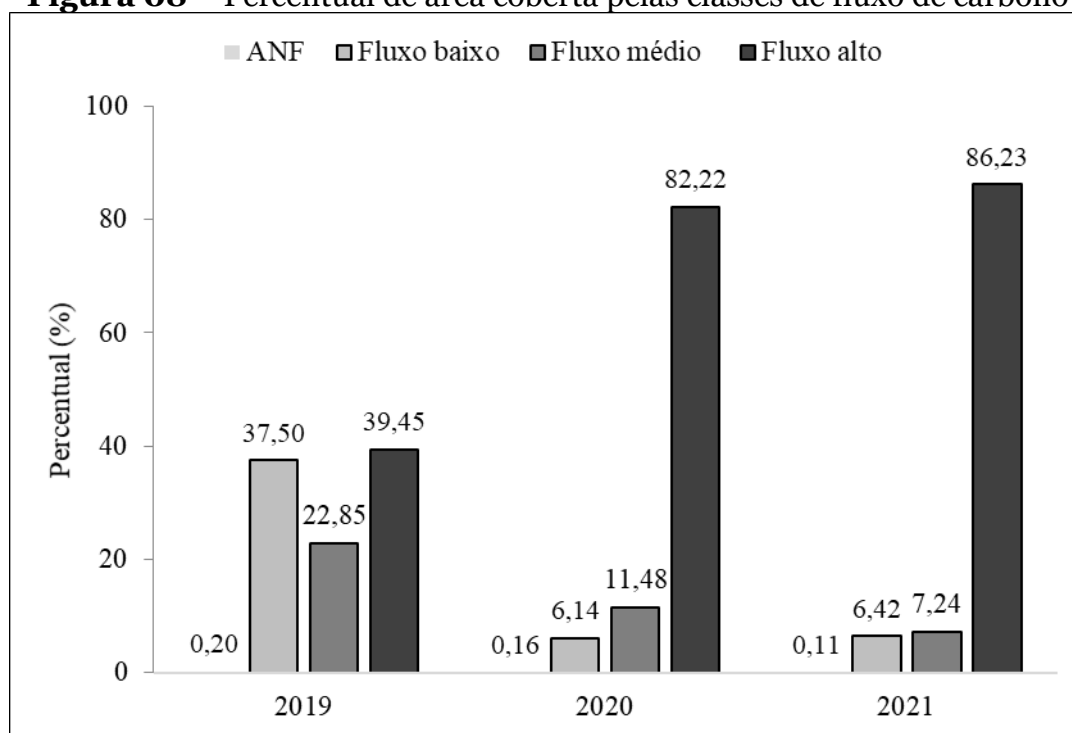
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Essa dinâmica resulta de duas características evidentes da área de estudo, a primeira diz respeito à destacada área ocupada por vegetação temporária, enquanto a segunda refere-se à sensibilidade demonstrada aos meses com

presença de chuva, uma vez que essa conjuntura possibilita à microrregião experimentar acréscimo e decréscimo da área e dos valores de CO₂flux conforme a presença ou ausência de chuva.

Embora se trate de um ambiente mais úmido, em relação à Caatinga, Brejos de Altitude também apresentam meses sem chuva, o que gera uma diminuição da atividade fotossintética e conseqüentemente menor atividade de sequestro de carbono. A Figura 08 mostra os percentuais de área ocupados pelas classes em todos os anos, onde é possível visualizar o crescimento manifestado pela classe de “Fluxo alto”.

Figura 08 – Percentual de área coberta pelas classes de fluxo de carbono



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Como o percentual de “Fluxo alto” aumentou em razão da diminuição dos percentuais encontrados para as demais classes, se torna nítido a influência do período chuvoso na dinâmica dos fluxos de carbono na microrregião considerada, uma vez que, foi capaz de alterar expressivamente a distribuição das classes no território, particularmente em espaços ocupados por pastagens e agricultura temporária.

Silva e Anjos (2021) abordando o índice CO₂flux no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, no estado de Goiás, registraram as classes de “Área não Fotossintética” (ANF), Fluxo baixo, Fluxo médio e Fluxo alto, além disso, também

observaram que as áreas de maior fluxo de carbono são mais expressivas no período chuvoso e atenuadas durante a estação chuvosa, indicando semelhanças entre as áreas estudadas.

A microrregião do Brejo Paraibano possui uma atividade de contribuição na ciclagem do carbono, funcionando como sumidouro de carbono, especialmente no período chuvoso. No período seco, com a retração da vegetação temporária ou espontânea, se torna nítido que áreas situadas nas bordas municipais funcionam como fonte de carbono, posto que os estoques presentes na vegetação são liberados pela queima ou degradação da área, manifestando áreas sem potencial para armazenagem na estação seca.

Por outro lado, com a chegada das chuvas, novamente se observa a função de sumidouro. A partir dessa premissa depreende a importância da recomposição da vegetação da microrregião, no intuito de reduzir os perímetros de vegetação temporária e aumentar os percentuais de vegetação nativa permanente, que por sua parte, não perdem a característica de sumidouro com a ausência das chuvas.

Na área de estudo, os fragmentos florestais maiores, a exemplo daquele contido no PE Mata do Pau-Ferro, não apresentaram mudança de fluxo, isto é, se mantiveram em “Fluxo alto” em todos os anos listados, pronunciado a estabilidade da vegetação, condição esperada, posto que se trata de uma Unidade de Conservação, onde o manejo da vegetação é restrito. Por outro lado, fragmentos fora das Unidades de Conservação são mais vulneráveis às ameaças externas, como incêndios e desmatamento. Na estação seca, os canaviais que disputam espaço com os remanescentes florestais são incendiados antes do corte manual, colocando em risco os resquícios de Mata Atlântica da região.

Ocorrem também outras importantes áreas constituídas por remanescentes florestais que se localizam em declives acentuados ou em outras categorias de áreas protegidas, a exemplo de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL). Esses perímetros tornam-se ainda notórios ao observar-se o resultado para o mês de dezembro, pois, representam as feições de sequestro de carbono mais destacadas durante período seco, haja vista que na estação chuvosa ocorre o aumento da biomassa vegetal por toda a região expondo maiores perímetros, bem como valores maiores para o índice.

No âmbito da Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (BRASIL, 2021), as condições

pronunciadas na região, anunciam potencial para a implantação de políticas de pagamento por serviços ambientais, haja vista que os fragmentos florestais remanescentes estão, em sua maioria, em propriedades privadas voltadas à atividade agropecuária. Dessa forma, por meio de incentivo financeiro, os proprietários podem atuar na recomposição da vegetação nativa ou mesmo aperfeiçoar os meios de manutenção dessas manchas florestais em suas propriedades de terra.

Diante do exposto, esses fragmentos têm papel fundamental na ciclagem de carbono na área em questão, e a continuidade do desmatamento e remoção da vegetação nativa poderá gerar nos próximos anos, novos espaços vazios, a exemplo do norte de Bananeiras, o que também se traduz na redução da capacidade da região em prestar o serviço ecossistêmico sequestro de carbono.

5 Considerações

As informações produzidas por intermédio do conjunto de técnicas empregado mostram que a microrregião do Brejo Paraibano possui uma ativa contribuição na ciclagem do carbono. Os índices NDVI, sPRI e CO₂flux mostraram que os fragmentos florestais consolidados apresentam potencial para sequestro de carbono durante todo o ano, ao passo que, as áreas ocupadas por vegetação temporária apresentam mudança do potencial na estação seca, onde passam a funcionar como fontes.

O CO₂flux nas três cenas analisadas evidenciou a presença de áreas ANF, Fluxo baixo, Fluxo médio e Fluxo alto, essas classes, por sua vez, demonstraram sensibilidade ao período chuvoso, pois experimentam aumento em termos de área e números do índice. As classes manifestadas vêm a revelar as múltiplas classes de usos e coberturas da terra na área de estudo, que impõem, em razão das suas particularidades físicas, diferentes dinâmicas ao ciclo do carbono, sendo os fluxos altos conferidos aos perímetros de vegetação florestal nativa.

O índice aplicado se mostrou promissor para o alcance do objetivo proposto, e no cenário de mudanças climáticas, em que cresce a necessidade pela quantificação dos estoques de carbono no intuito de subsidiar políticas de conservação e créditos do mesmo, o índice CO₂flux detém potencial para identificação de fluxos e mapeamento das áreas sequestradoras. As informações manifestadas também podem ser utilizadas para comunicar a importância dos

fragmentos da Floresta Atlântica, promover a conscientização ambiental, bem como auxiliar nas políticas de pagamento por serviços ecossistêmicos.

5 Referências

AMARAL, R.; BAPTISTA, G. M. M.; BEZERRA, M. C. L. Identifying Carbon Sinks with the Use of Hyperspectral Images: a Potential Tool for Landscape Planning. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-3/W12, n. Lagirs, p. 465–469, 2020. Disponível em: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W12-2020/465/2020/>. Acesso em: 6 out. 2021.

AQUINO, D. N.; ROCHA NETO, O. C.; MOREIRA, M. A.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M. Use of remote sensing to identify areas at risk of degradation in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 3, p. 420–429, 2018. Disponível em: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20180047>. Acesso em: 2 out. 2021.

ARRUDA, L. V.; RODRIGUES, L. P. M.; SILVA, I. C.; SOUZA, R. S. Configuração geoambiental e dinâmica do espaço agrário atual do Brejo Paraibano (PB), Paraíba, Brasil. **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, n. 01, p. 72–102, 2022. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/2874>. Acesso em: 2 out. 2022.

ARTIGAS, R. C.; SOUZA, B. I.; LIMA, R. P. Climatic changes and distribution of plant formations in the state of Paraíba, Brazil. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 48, n. 1, p. 157–174, 2022. Disponível em: <https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/cig/article/view/5044>. Acesso em: 15 ago. 2023.

BAPTISTA, G. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 2, p. 189–202, 2004. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/853/860>. Acesso em: 5 abr. 2020.

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. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 33, p. 128, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/128171>. Acesso em: 6 out. 2021.

BÉTARD, F.; PEULVAST, J. P.; SALES, V. C. Caracterização morfopedológica de uma serra úmida no semi-árido do Nordeste brasileiro: o caso do maciço de Baturité-CE. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 6, n. 12, p. 107–126, 2007. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/49>. Acesso em: 20 jun. 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis n os 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de

dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília: Presidência da República, 2021. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm.
 Acesso em: 10 abr. 2021.

CAMPOS, J. O.; CAMPOS, G. O.; CAVALCANTE, M. B. Uso e Cobertura da Terra e Propagação de Efeitos de Borda na Zona de Amortecimento do Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Paraíba, Brasil. **Geografia (Londrina)** v., v. 33, n. 2, p. 51–70, 2024. Disponível em:
<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/49012>. Acesso em: 4 jul. 2024.

CAMPOS, J. O.; LIMA, E. R. V.; COSTA, D. F. S. Mapeamento do serviço ecossistêmico de sequestro de carbono prestado pela cobertura florestal do Parque Estadual Mata do Pau-Ferro e sua Zona de Amortecimento, Areia, Paraíba. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 17, n. 2, p. 115–135, 2023. Disponível em: <https://revista.ufrb.br/rga/article/view/7888>. Acesso em: 12 fev. 2024.

CAMPOS, J. O.; LIMA, V. R. P. Proposta de Zoneamento Ambiental para o Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Paraíba, Brasil. **Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, v. 2, n. 1, p. 19–46, 2020. Disponível em:
<https://revistas.uminho.pt/index.php/physisterrae/article/view/2425>. Acesso em: 4 ago. 2020.

CARNEIRO, K. A. A.; SOUSA, L. R.; FRAGA, V. S.; SILVA, A. P.; UTUNI, V. H. S.; SANTOS, R. F.; VENDRUSCOLO, J. Solos do brejo paraibano: Influências do clima, do relevo e do material de origem. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. 1–13, 2021. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16545>. Acesso em: 8 nov. 2021.

CASTANHEIRA, L. B.; LANDIM, P. M. B.; LOURENÇO, R. W. Variabilidade do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em Áreas de reflorestamento: Floresta estadual “Edmundo Navarro de Andrade” (FEENA)/Rio Claro (SP). **Geociências**, v. 33, n. 3, p. 449–456, 2014. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/287092184_Variabilidade_do_Indice_de_vegetaCAo_por_diferenCa_normalizada_NDVI_em_Areas_de_reflorestamento_Floresta_estadual_%27edmundo_navarro_de_andrade%27_feenario_claro_SP. Acesso em: 5 out. 2021.

COLTRI, P. P.; ZULLO, J.; RIBEIRO DO VALLE GONCALVES, R.; ROMANI, L. A. S.; PINTO, H. S. Coffee Crop’s Biomass and Carbon Stock Estimation With Usage of High Resolution Satellites Images. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 6, n. 3, p. 1786–1795, 2013. Disponível em:
<http://ieeexplore.ieee.org/document/6520004/>. Acesso em: 2 out. 2021.

DAVID, H. C.; BARBOSA, R. I.; VIBRANS, A. C.; WATZLAWICK, L. F.; TRAUTENMULLER, J. W.; BALBINOT, R.; RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; SILVA, A. C.; FREITAS, J. V.; MACFARLANE, D. W. The tropical biomass & carbon project—An

application for forest biomass and carbon estimates. **Ecological Modelling**, v. 472, p. 110067, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380022001752>. Acesso em: 15 ago. 2023.

FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C. de. Cálculo do Índice Espectral CO₂FLUX em área de mata atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. Campinas - SP: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017. p. 4642–4653.

GAMON, J. A.; KOVALCHUCK, O.; WONG, C. Y. S.; HARRIS, A.; GARRITY, S. R. Monitoring seasonal and diurnal changes in photosynthetic pigments with automated PRI and NDVI sensors. **Biogeosciences**, v. 12, n. 13, p. 4149–4159, 2015. Disponível em: <https://bg.copernicus.org/articles/12/4149/2015/>. Acesso em: 6 out. 2021.

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: <http://link.springer.com/10.1007/s004420050337>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GOIS, L. S. D. S.; CORRÊA, A. C. D. B.; MONTEIRO, K. D. A. Análise Integrada dos Brejos de Altitude do Nordeste do Brasil a partir de Atributos Fisiográficos. **Espaço Aberto**, v. 9, n. 2, p. 77–98, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspaçoAberto/article/view/28357>. Acesso em: 8 maio. 2020.

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. 4, p. 1898–1908, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/248853>. Acesso em: 12 fev. 2022.

HADDAD, N. M.; BRUDVIG, L. A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K. F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R. D.; LOVEJOY, T. E.; SEXTON, J. O.; AUSTIN, M. P.; COLLINS, C. D.; COOK, W. M.; DAMSCHEN, E. I.; EWERS, R. M.; FOSTER, B. L.; JENKINS, C. N.; KING, A. J.; LAURANCE, W. F.; LEVEY, D. J.; MARGULES, C. R.; MELBOURNE, B. A.; NICHOLLS, A. O.; ORROCK, J. L.; SONG, D.-X.; TOWNSHEND, J. R. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v. 1, n. 2, p. 1–9, 2015. Disponível em: <https://advances.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/sciadv.1500052>. Acesso em: 12 jan. 2021.

HEINRICH, V. H. A.; VANCUTSEM, C.; DALAGNOL, R.; ROSAN, T. M.; FAWCETT, D.; SILVA-JUNIOR, C. H. L.; CASSOL, H. L. G.; ACHARD, F.; JUCKER, T.; SILVA, C. A.; HOUSE, J.; SITCH, S.; HALES, T. C.; ARAGÃO, L. E. O. C. The carbon sink of secondary and degraded humid tropical forests. **Nature**, v. 615, n. 7952, p. 436–442, 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05679-w>. Acesso em: 15 mar. 2024.

HOLMBERG, M.; AALTO, T.; AKUJÄRVI, A.; ARSLAN, A. N.; BERGSTRÖM, I.; BÖTTCHER, K.; LAHTINEN, I.; MÄKELÄ, A.; MARKKANEN, T.; MINUNNO, F.; PELTONIEMI, M.; RANKINEN, K.; VIHERRAARA, P.; FORSIUS, M. Ecosystem Services Related to Carbon Cycling – Modeling Present and Future Impacts in Boreal Forests. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. March, p. 1–14, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2019.00343/full>. Acesso em: 5 out. 2021.

IBGE. **Divisão do Brasil em mesorregiões e microrregiões**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IBGE. **Primeiros resultados de população do Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

JACKSON, H. B.; FAHRIG, L. Habitat loss and fragmentation. **Encyclopedia of Biodiversity**, v. 4, p. 50–58, 2013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123847195003993>. Acesso em: 5 out. 2020.

MAYO, S. J.; FEVEREIRO, V. P. B. **Mata de Pau Ferro: a pilot study of the Brejo Forest of Paraíba, Brazil**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1982.

MEDEIROS, J. F.; CESTARO, L. A. As diferentes abordagens utilizadas para definir brejos de altitude, áreas de exceção do Nordeste brasileiro. **Sociedade e Território**, v. 31, n. 2, p. 97–119, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/16096>. Acesso em: 5 ago. 2020.

MEDEIROS, R. L. S.; SOUZA, V. C.; SANTOS, J. N. B.; AZEREDO, G. A.; ANJOS, F. Seeds ecophysiology in an altitude marsh in Paraíba State, Brazil, aiming the conservation of the autochthonous biodiversity. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 697–705, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/27754>. Acesso em: 15 maio. 2020.

MEIRA, A. C. S.; MELLO, A. A.; SANQUETTA, C. R.; FERREIRA, R. A. ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO EM ÁREA DE MATA ATLÂNTICA, IMPLANTADA POR MEIO DE REFLORESTAMENTO MISTO. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 130–134, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/67298>. Acesso em: 8 out. 2021.

MO, L. *et al.* Integrated global assessment of the natural forest carbon potential. **Nature**, v. 624, n. 7990, p. 92–101, 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06723-z>

PEÑUELAS, J.; GARBULSKY, M. F.; FILELLA, I. Photochemical reflectance index (PRI) and remote sensing of plant CO₂ uptake. **New Phytologist**, v. 191, n. 3, p. 596–599, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2011.03791.x>. Acesso em: 6 out. 2021.

PEREIRA FILHO, G. A.; FREITAS, M. A.; SILVA VIEIRA, W. L.; BARBOSA DE MOURA, G. J.; RODRIGUES FRANÇA, F. G. State of knowledge and conservation of the snake fauna of the “Brejos de Altitude” in the Pernambuco Endemism Center, Northeastern Brazil. **Ethnobiology and Conservation**, v. 9, n. 12, p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://ethnobiococonservation.com/index.php/ebc/article/view/370/250>. Acesso em: 25 fev. 2023.

RABE, S.-E.; KOELLNER, T.; MARZELLI, S.; SCHUMACHER, P.; GRÊT-REGAMEY, A. National ecosystem services mapping at multiple scales - The German exemplar. **Ecological Indicators**, v. 70, n. 2016, p. 357–372, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X16302916>. Acesso em: 5 out. 2021.

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. *In*: AVIRIS WORKSHOP2000, Pasadena, Califórnia. **Proceedings**. Pasadena, Califórnia: JPL/NASA, 2000.

RODAL, M. J. N.; SALES, M. F.; SILVA, M. J.; SILVA, A. G. Flora de um brejo de altitude na escarpa oriental do planalto da Borborema, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 843–858, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062005000400020&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 4 ago. 2020.

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, 3., 1973, Washington, DC. **Proceedings**. Washington, DC: NASA, United States, 1973. p. 309-317.

SANTOS, C. V. B.; BAPTISTA, G. M. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, A. de B.; FRANCA-ROCHA, W. de 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. 8, n. 3, p. 226–239, 2023. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/4724>. Acesso em: 3 set. 2023.

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**. 2. ed. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2018. p. 80–93.

SILVA, J. G. M.; QUINTANILHA, J. A.; GROHMANN, C. H.; COSTA, D. R.; COSTA, J. D. M.; SILVA, J. M. S. Distribuição da Biomassa vegetal e sequestro de carbono na sub-bacia do Rio Pirajibu no município de Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1647–1656, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/256662>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SILVA, M. A.; LACERDA, C. S. A. Análise do sequestro de carbono na região do

Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros utilizando técnicas de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 9, n. 3, p. 251–270, 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/13542>. Acesso em: 10 out. 2022.

SOUSA, D. S.; PEREIRA, W. E. Atividade agrícola do Brejo Paraibano: declínio e tendências atuais. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 6, n. 3, p. 11–20, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/ojs/rbas/article/view/2914>. Acesso em: 15 jun. 2023.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127–150, 1979. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0034425779900130>. Acesso em: 8 ago. 2020.

VANCINE, M. H.; MUYLAERT, R. L.; NIEBUHR, B. B.; OSHIMA, J. E. de F.; TONETTI, V.; BERNARDO, R.; DE ANGELO, C.; ROSA, M. R.; GROHMANN, C. H.; RIBEIRO, M. C. The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 291, p. 110499, 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320724000600>. Acesso em: 10 abr. 2024.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização**. Recife: Conselho do Desenvolvimento de Pernambuco, 1971.