

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FLUXO DE CO<sub>2</sub> EM  
FLORESTAS SEMIDECIDUAL E DECIDUAL NA BAHIA**

**ANA JÚLIA SANTOS BRITO**

**VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA - BRASIL  
DEZEMBRO – 2023**

**ANA JÚLIA SANTOS BRITO**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FLUXO DE CO<sub>2</sub> EM  
FLORESTAS SEMIDECIDUAL E DECIDUAL NA BAHIA**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientador: Prof. Odair Lacerda Lemos (UESB)**

**VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA - BRASIL  
DEZEMBRO – 2023**

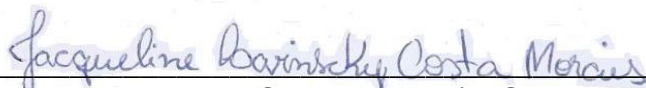
**ANA JÚLIA SANTOS BRITO**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FLUXO DE CO<sub>2</sub> EM  
FLORESTAS SEMIDECIDUAL E DECIDUAL NA BAHIA**

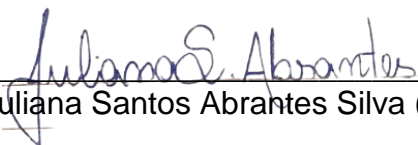
Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovada em 01/12/2023

Comissão Examinadora:



Jacqueline Lavinsky Costa Moraes (M.Sc., Fitotecnia) - UESB



Juliana Santos Abrantes Silva (Engenheira Florestal) - UESB



Prof. Odair Lacerda Lemos (D.Sc., Sistema de Produção) - UESB  
Orientador

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	8
MATERIAL E MÉTODOS .....	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
CONCLUSÕES .....	22
REFERÊNCIAS.....	22
NORMAS DA REVISTA .....	25

## **AGRADECIMENTOS**

“Em tudo dai graças, porque esta é a vontade de Deus em Cristo Jesus para convosco” (1 Ts 5:18) e “Confia no Senhor as tuas obras e teus pensamentos serão estabelecidos” (Pv 16:03). Agradeço primeiramente à Deus, pelo dom da vida, por ter me sustentado e guiado durante mais uma etapa da minha vida.

Aos meus pais, Ângelo e Saionara, por todas as orações, por serem meus maiores incentivadores, acreditarem no meu potencial e não medirem esforços para que eu pudesse seguir meus sonhos.

À minha irmã, Maria Clara, por todo o companheirismo, cuidado, palavras de apoio e por toda a torcida que tens por mim.

Aos meus avós, em especial João e Lindoélia, por todo amor, preocupação, cuidado e suporte prestados a mim durante toda a minha fase acadêmica.

Às amigas que construí durante esses 5 anos, em especial a Duda, Edilma, Isa e Nat, pela parceria, incentivo, paciência, acolhimento, troca de conhecimentos e principalmente por comemorarem cada conquista minha.

À Estefane, que se fez presente em cada etapa deste trabalho de conclusão de curso, obrigada por sempre me acalmar, aconselhar, incentivar e me escutar incansavelmente.

Ao meu orientador, Odair Lemos, por todos os ensinamentos, conselhos, suporte e principalmente pela amizade.

Aos meus colegas do Laboratório de Geotecnologias Aplicadas, em especial à Lucas, Talita, Juliana, Ingrid, Lilian e Jacqueline, por todas as trocas de conhecimentos, experiências, por todo o apoio e principalmente pelas resenhas.

**“Olho nenhum viu, ouvido nenhum ouviu, nem jamais o coração do homem percebeu, as coisas maravilhosas que Deus preparou para aqueles que amam o Senhor”.**

(1 Coríntios 2:09)

Trabalho monográfico escrito em forma de artigo científico seguindo as Normas da **Revista Ciências Florestais**, as quais estão anexas.

# ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FLUXO DE CO<sub>2</sub> EM FLORESTAS SEMIDECIDUAL E DECIDUAL NA BAHIA

## SPACE-TIME ANALYSIS OF CO<sub>2</sub> FLUX IN SEMIDECIDUOUS AND DECIDUOUS FOREST IN BAHIA

---

Ana Júlia Santos Brito<sup>I</sup>, Odair Lacerda Lemos<sup>II</sup>

<sup>I e II</sup> Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, BA, Brasil

### RESUMO

---

As florestas exercem um papel importante no sequestro de CO<sub>2</sub>, pois durante o seu crescimento, elas assimilam carbono e na fase de maturação estabilizam e armazenam o mesmo em suas estruturas por meio da fotossíntese. Para monitorar, quantificar e estimar estoques e fluxos de CO<sub>2</sub> em espécies florestais existem métodos de análise não destrutiva, sendo os sensores remotos um deles. O objetivo do trabalho foi analisar alterações espectrais do fluxo de CO<sub>2</sub> em uma floresta decidual e uma semidecidual no estado da Bahia. O estudo foi realizado em uma floresta semidecidual e decidual no estado da Bahia. Foram empregadas imagens dos sensores Landsat 8 para dados de 2013 a 2018 e Sentinel 2 para os dados de 2019 a 2022 em virtude da falta de imagens de um único satélite e também devido a nuvens no local para as épocas estudadas. Em seguida, foram selecionadas cenas entre 20 de abril e 20 de setembro representando os meses secos e, 21 de setembro a 20 de abril representando os meses chuvosos, estas com 30% de porcentagem de nuvens contidas nas imagens. Foram utilizados os índices espectrais NDVI e PRI para o cálculo dos fluxos de CO<sub>2</sub>. A precipitação e temperatura foram obtidas pelo NASA Power. Foi realizado o teste t pelo XLSTAT e Excel. Para as duas épocas estudadas (chuvosa e seca) houve um fluxo de CO<sub>2</sub> positivo durante a série temporal de 10 anos nas duas áreas estudadas, ou seja, há a liberação de carbono da vegetação para atmosfera. Mediante médias das florestas estudadas, têm-se que a Mata de Cipó obtém uma maior emissão de CO<sub>2</sub> (0,412), já a FLONA obteve uma média de 0,303. Nota-se uma variação no padrão do CO<sub>2</sub>Flux entre as estações seca e chuvosa para ambas florestas estudadas. Em alguns anos, ocorreu um índice mais elevado durante o período seco, já em outros anos, ocorreu maiores valores do fluxo no período chuvoso. O índice espectral se comporta diferente para as duas florestas estudadas, com relação aos parâmetros de temperatura e precipitação. Apesar de serem florestas Decidual e Semidecidual (fisionomia diferente) essas possuem uma correlação positiva entre elas.

**Palavras-chave:** Gases de efeito estufa; CO<sub>2</sub>Flux; Sensoriamento Remoto; Caatinga; Florestas

### ABSTRACT

---

Forests play a crucial role in carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) sequestration. During their growth, they assimilate carbon, and in the maturation phase, they stabilize and store it in their structures through photosynthesis. Non-destructive analysis methods, including remote sensors, are employed to monitor, quantify, and estimate CO<sub>2</sub> stocks and fluxes in forest species. This study aimed to analyze spectral changes in CO<sub>2</sub> flux in a deciduous and a semi-deciduous forest in the state of Bahia, Brazil. The research was conducted in both a semi-deciduous and deciduous forest in Bahia. Landsat 8 images were used for data from 2013 to 2018, and Sentinel 2 for data from 2019 to 2022 due to the lack of images from a single satellite and the presence of clouds during the study periods. Scenes between April 20 and September 20, representing dry months, and September 21 to April 20, representing rainy months, were selected, with 30% cloud cover in the images. Spectral indices, namely NDVI and PRI, were used to calculate CO<sub>2</sub> flux. Precipitation and temperature data were obtained from NASA Power. The t-test was conducted using XLSTAT and Excel. For both seasons (rainy and dry), there was a positive CO<sub>2</sub> flux over the 10-year time series in both areas,

indicating carbon release from vegetation to the atmosphere. Considering the averages of the studied forests, the Cipó Forest exhibited a higher CO<sub>2</sub> emission (0.412), while the FLONA had an average of 0.303. There was a variation in the CO<sub>2</sub> flux pattern between the dry and rainy seasons for both forests. In some years, higher indices were observed during the dry period, while in other years, higher values occurred during the rainy period. The spectral index behaved differently for the two studied forests concerning temperature and precipitation parameters. Despite being deciduous and semi-deciduous forests with different physiognomies, they exhibited a positive correlation between them.

**Keywords:** Greenhouse gases; CO<sub>2</sub>Flux; Remote Sensing; Caatinga; Forests

## INTRODUÇÃO

A preocupação com relação às mudanças climáticas do planeta Terra vem crescendo nas últimas décadas, resultante das emissões de dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases, como o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Nunes *et al.*, 2023). Com Destaque para o CO<sub>2</sub>, por apresentar difícil dissipação da radiação refletida pelo planeta (Manzato, 2018).

Neste contexto, o aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) promove alterações na paisagem terrestre e na atmosfera, como aceleração de encolhimento do ambiente glacial, temperatura, médias do oceanos (Araujo *et al.*, 2018) influenciando a demanda por estratégias que objetivam a redução das emissões desses gases.

O principal processo natural que influencia no efeito estufa é o sequestro do CO<sub>2</sub>, no qual converte o dióxido de carbono em biomassa. As florestas exercem um papel importante nesse processo, pois, ao longo de seu crescimento, absorvem carbono e na fase de maturação, estabilizam e armazenam esse carbono em suas estruturas por meio da fotossíntese (Manzato, 2018).

Portanto, elas desempenham um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas (Manzato, 2018) e representam alternativas capazes de reduzir o aumento da concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera. Sendo assim, sua degradação tem efeito negativo em vários aspectos, especialmente no que se refere à absorção e liberação CO<sub>2</sub> (Silva *et al.*, 2022).

Para monitorar, quantificar e estimar estoques e fluxos de CO<sub>2</sub> em espécies florestais, existem métodos de análise destrutiva (abate de árvores) e não destrutiva (processamento digital de imagens). Os métodos destrutivos demandam muito esforço durante a execução para análise (Qureshi *et al.*, 2012), já o uso do sensoriamento remoto vem sendo um método bastante utilizado e eficiente (Gomes, 2021), por demandar menos esforços e ser de fácil aplicabilidade.



O sensoriamento remoto consiste em um conjunto de técnicas para adquirir dados e identificar características específicas da superfície terrestre ou de objetos sem a necessidade de contato direto (Barros & Junior, 2023). Eles são baseados na interação da energia ou radiação eletromagnética (REM) com o alvo, no qual este contém sua própria assinatura eletromagnética (Moraes, 2002).

Segundo Manzato (2018) a utilização de dados por meio de sensores remotos orbitais é um método promissor, pois reduz o tempo, o custo (comparado a outros métodos), é de rápida avaliação e incorpora a variabilidade da floresta em uma escala regional de estoque e fluxo de carbono.

Na utilização do sensoriamento remoto, pesquisadores desenvolveram índices espectrais de vegetação para monitorar e quantificar as condições espaciais das vegetações, empregando dados de reflectância espectral da radiação eletromagnética (Polonio, 2015). Estes, são equações matemáticas geradas por algoritmos por meio de imagens dos sensores (Moraes, 2021).

A caatinga se destaca por suas características climáticas singulares quando comparadas a outros biomas. Segundo a classificação de Köppen, o clima é identificado como Bsh, o que significa um clima semiárido extremamente quente, com baixa precipitação e com distribuição irregular. Exibe uma diversidade em sua fisionomia, especialmente em relação à densidade e ao tamanho das plantas (Santos, 2017).

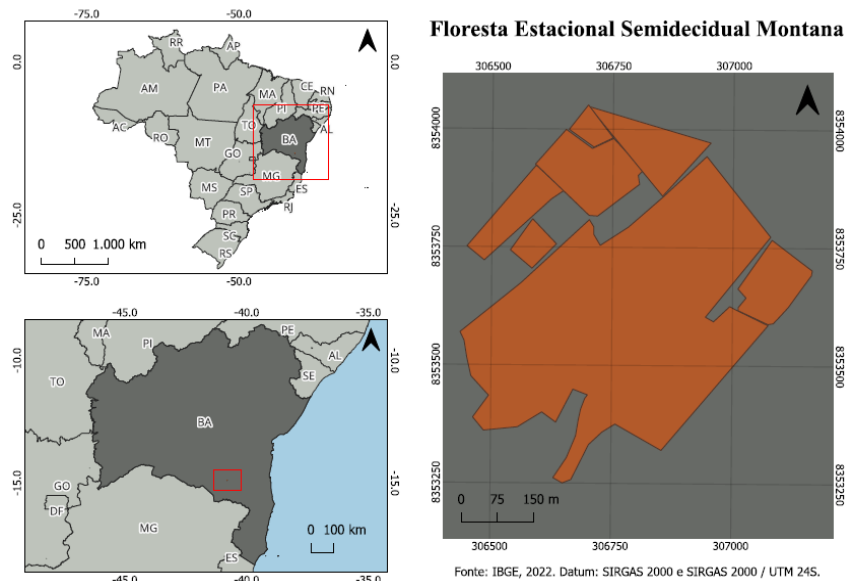
Deste modo, o objetivo do trabalho foi analisar alterações espectrais do fluxo de CO<sub>2</sub> em uma floresta decidual e uma semidecidual no estado da Bahia.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

- *Área de estudo*

O estudo foi realizado em duas áreas, sendo a primeira localizada no município de Vitória da Conquista, região centro sul da Bahia, que contém um clima tropical de altitude, do tipo Cwb (Köppen), com uma altitude de 891 m. No verão, as temperaturas frequentemente alcançam 30-32°C, ao passo que, durante o inverno, tornam-se mais amenas, podendo situar-se entre 10-15°C. O período de chuvas é mais concentrado no verão, de novembro a março, enquanto o inverno é mais seco. A precipitação anual média é em torno de 900 – 1.000 mm, mas pode variar significativamente de ano para ano. A

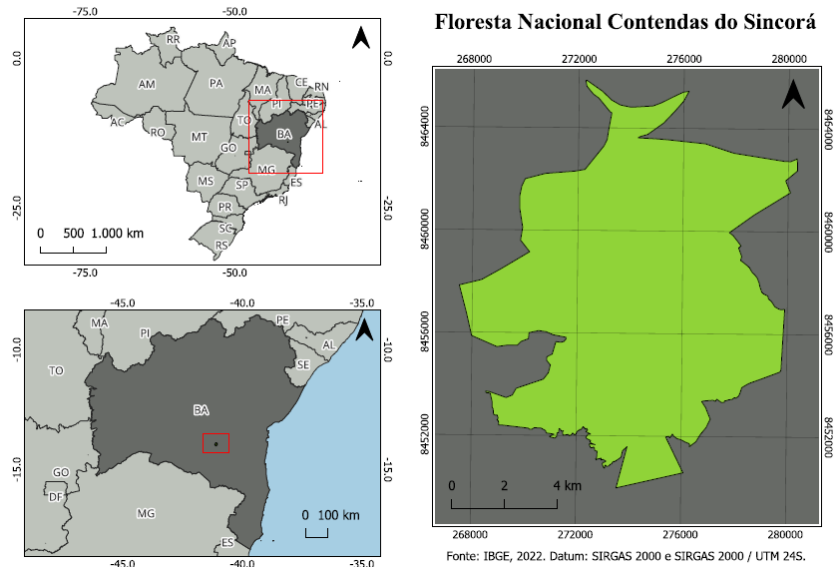
floresta dessa região é classificada pelo IBGE como Floresta Estacional Semidecidual Montana, conhecida regionalmente como Mapa de Cipó (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da Floresta Estacional Semidecidual Montana (Mata de Cipó). Fonte: Autora, 2023.

A segunda área, localiza-se no município de Contendas do Sincorá (Figura 2), região sudoeste da Bahia, a qual compartilha características climáticas similares a Vitória da Conquista. Está situada em uma área de transição entre a caatinga e o cerrado. Possui clima semiárido do tipo BSw<sub>h</sub> (Köppen), com uma estação chuvosa mais concentrada e uma estação seca prolongada. Durante o verão, as temperaturas podem ultrapassar os 30°C, enquanto os invernos podem ser mais amenos, com mínimas em torno de 15-20°C.

A precipitação anual geralmente fica em torno de 600-800 mm, com período chuvoso concentrado entre os meses de novembro a março e a estação seca caracterizada por baixa precipitação, ocorre nos meses de abril a outubro.



**Figura 2.** Localização da Floresta Estacional Semidecidual Montana (FLONA). Fonte: Autora, 2023.

- *Imagens de satélite*

Para essa pesquisa foram utilizadas imagens do sensor Landsat 8 (LS8), que contém bandas multiespectrais com resolução de 30 metros para obtenção dos dados de 2013 a 2018, e imagens do sensor Sentinel 2 (S2), que contém bandas multiespectrais com resolução de 10 metros para os dados de 2019 a 2022. Optou-se por utilizar os dois sensores em virtude da falta de imagens de um único satélite, devido a nuvens no local, para as épocas estudadas. Foi realizada uma seleção de cenas entre os meses de 20 de abril a 20 de setembro, representando os meses secos e 21 de setembro a 20 de abril, representando os meses chuvosos, com uma porcentagem de nuvens de até 30% nas imagens.

No banco de dados da Floresta Estacional Semidecidual Montana entraram as seguintes quantidades de imagens:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
SECA	7	6	5	9	3	3	20	30	26	22	131
CHUVA	4	5	15	4	11	6	30	21	13	4	113
TOTAL	11	11	20	13	14	9	50	51	39	26	244

**Quadro 1.** Quantidade de imagens selecionadas no banco de dados da Mata de Cipó para época seca e chuvosa em seus respectivos anos.

No banco de dados da Floresta Nacional de Contendas do Sincorá entraram as seguintes quantidades de imagens:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
SECA	7	7	5	8	2	4	10	11	16	13	83
CHUVA	1	5	9	8	5	7	18	15	6	2	76
TOTAL	8	12	14	16	7	11	28	26	22	15	159

**Quadro 2.** Quantidade de imagens para a Floresta Nacional Contendas do Sincorá para a época seca e chuvosa em seus respectivos anos.

Essas regiões foram escolhidas por apresentarem uma diferença na sua fisionomia. A porcentagem das árvores caducifólias nas florestas semidecíduais fica entre 20% e 50%, já nas florestas decíduas possuem 50% (PIO, 2018).

- *Pré-processamento de imagens*

Para análise do CO<sub>2</sub>Flux na vegetação, foi utilizada a integração de dois índices espectrais, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Equação 1) e o PRI (Photochemical Reflectance Index) (Equação 2). O índice NDVI é expresso pela razão entre as bandas espectrais na região do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR). Já o PRI é expresso pela razão entre a feição de absorção no azul (B) e o pico de reflectância do verde (G), conforme as equações abaixo:

$$\text{Equação 1. NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}$$

$$\text{Equação 2. PRI} = \frac{B-G}{B+G}$$

Os valores do PRI são apresentados de forma negativa, sendo necessário a transformação para valores positivos, a fim de normalizar a vegetação verde e corrigir a fração iluminada no uso da luz durante a fotossíntese, gerando o índice de sPRI (Photochemical Reflectance Index resheduled for positive value) (Equação 3) (SOUZA, *et al.*, 2017) conforme equação 3:

$$\text{Equação 3. sPRI} = \text{PRI} + \frac{1}{2}$$

O CO<sub>2</sub>Flux (Equação 4) mede a eficiência do sequestro do carbono pela vegetação e a capacidade da planta em realizar esse processo depende da sua atividade fotossintética (Silva & Anjos, 2021). Sua estimativa foi obtida pela seguinte equação:

$$\text{Equação 4. CO}_2\text{Flux} = \text{NDVI} \times \text{sPRI}$$

Os dados foram processados na plataforma do Google Earth Engine, mediante script e posteriormente exportados em forma de tabelas os valores do índice. Para confecção dos mapas utilizou-se o *Software* QuantumGis.

Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos por meio do *site* NASA POWER, no qual os parâmetros meteorológicos são derivados do modelo de assimilação GMAO MERRA-2 da NASA e do GEOS 5.12.4 FP-IT, que são processados diariamente e anexados ao final da série temporal diária e são atualizados a cada mês (NASA Power, 2021).

- *Análise estatística*

Após obtenção dos dados dos fluxos de CO<sub>2</sub>, precipitação e temperatura, realizou-se o Teste Tukey e a linha de tendência R<sup>2</sup> no XLSTAT e Excel para analisar a correlação dos dados entre si.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante das imagens espectrais adquiridas foi possível gerar os resultados para os fluxos de CO<sub>2</sub> e por meio do banco de dados do NASA Power obteve-se os dados de precipitação (mm) e temperatura (°C), conforme apresentados nas tabelas 1 e 2.

MATA DE CIPÓ									
SECA				CHUVA			MÉDIA E TOTAL		
ANO	CO <sub>2</sub> Flux (LS-8)	P (mm)	T (C°)	CO <sub>2</sub> Flux (LS-8)	P (mm)	T (C°)	CO <sub>2</sub> Flux anual	P tot (mm/ano)	T (°C/ano)
2013	0,562	200,38	21,24	0,525	416,60	23,01	0,543	616,98	22,13
2014	0,500	89,65	21,24	0,563	458,79	23,43	0,532	548,44	22,24
2015	0,474	126,56	21,70	0,514	290,03	25,02	0,494	416,59	22,36
2016	0,458	126,56	21,71	0,464	442,97	23,64	0,460	569,53	22,68
2017	0,672	295,32	19,97	0,581	479,89	23,59	0,627	722,47	21,78
2018	0,480	121,29	21,03	0,586	395,51	24,19	0,553	601,18	22,61
ANO	CO <sub>2</sub> Flux (S2)	P (mm)	T (C°)	CO <sub>2</sub> Flux (S2)	P (mm)	T (C°)	CO <sub>2</sub> Flux anual	P tot (mm/ano)	T (°C/ano)
2019	0,253	168,75	21,54	0,217	374,42	24,63	0,235	564,26	23,09
2020	0,230	295,31	20,83	0,281	374,42	24,05	0,226	669,26	22,44
2021	0,216	162,71	21,42	0,279	751,28	23,51	0,247	913,99	22,47
2022	0,273	142,29	21,05	0,167	514,38	23,05	0,220	656,67	22,05

**Tabela 1.** Resultados de CO<sub>2</sub>Flux, Precipitação (mm) e temperatura (°C) durante o período seco e chuvoso para os respectivos anos estudados para a Mata de Cipó (LS-8: Landsat-8; S2: Sentinel-2).

FLONA

SECA			CHUVA			MÉDIA E TOTAL			
ANO	CO <sub>2</sub> Flux (LS-8)	P (mm)	T (C°)	CO <sub>2</sub> Flux (LS-8)	P (mm)	T (C°)	CO <sub>2</sub> Flux anual	P tot (mm/ano)	T (°C/ano)
2013	0,267	110,75	23,33	0,516	478,00	24,90	0,392	511,53	24,12
2014	0,229	94,92	23,23	0,487	532,62	24,57	0,358	627,54	23,90
2015	0,272	152,93	22,15	0,468	406,05	26,40	0,370	558,98	24,78
2016	0,350	36,90	23,65	0,605	358,60	25,59	0,477	385,50	24,62
2017	0,399	71,10	22,12	0,431	432,42	25,16	0,415	503,52	23,64
2018	0,402	84,37	22,92	0,409	516,80	25,57	0,405	601,17	24,25
ANO	CO <sub>2</sub> Flux (S2)	P (mm)	T (C°)	CO <sub>2</sub> Flux (S2)	P (mm)	T (C°)	CO <sub>2</sub> Flux anual	P tot (mm/ano)	T (°C/ano)
2019	0,134	79,10	23,42	0,162	479,87	26,12	0,148	558,97	24,77
2020	0,198	179,30	22,43	0,204	432,42	25,47	0,201	611,72	23,95
2021	0,140	94,98	23,60	0,196	911,19	24,57	0,168	1006,17	24,09
2022	0,112	459,83	21,69	0,078	429,93	24,12	0,009	889,76	22,91

**Tabela 2.** Resultados de CO<sub>2</sub>Flux, Precipitação (mm) e temperatura (°C) durante o período seco e chuvoso para os respectivos anos estudados para a FLONA (LS-8: Landsat-8; S2: Sentinel-2).

Na tabela 3 estão apontadas as médias gerais do CO<sub>2</sub>Flux para a mata de Cipó e FLONA.

PERÍODO	MATA DE CIPÓ	FLONA
SECO	0,4118	0,2503
CHUVOSO	0,4177	0,3556
MÉDIA TOT	0,415	0,303

**Tabela 3.** Média total do CO<sub>2</sub>Flux para a Mata de Cipó e FLONA durante os dois períodos estudados e os respectivos anos.

Os fluxos de CO<sub>2</sub> observados são representados por valores que refletem assimilação de CO<sub>2</sub> pelo processo fotossintético no ecossistema e valores remetem a transferência de CO<sub>2</sub> para atmosfera por meio da respiração (Oliveira *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2023). Sendo assim, valores positivos nos fluxos de CO<sub>2</sub> sugerem que há emissões de carbono da vegetação para a atmosfera, decorrente da respiração das plantas. Enquanto números negativos indicam que o carbono está sendo

assimilado da atmosfera para a vegetação, devido à fotossíntese em ação (Oliveira *et al.*, 2006).

De acordo com os resultados obtidos, os valores positivos indicam que houve emissões de carbono da vegetação para a atmosfera, decorrente da respiração das plantas. Assim sendo, mediante médias das florestas estudadas, têm-se que a Mata de Cipó obtém uma maior liberação de CO<sub>2</sub> com 0,415, já a FLONA obteve uma média de 0,303 (Tabela 3). Neste sentido, observa-se que há um fluxo positivo de CO<sub>2</sub> para as 2 épocas (seca e chuvosa) durante a série temporal de 10 anos nas duas áreas estudadas, demonstrando mais emissão de carbono da vegetação para a atmosfera.

Nota-se uma oscilação no padrão do CO<sub>2</sub>Flux entre as estações seca e chuvosa para ambas florestas estudadas. Em alguns anos, ocorreu um índice mais elevado durante o período seco, como em 2013 (0,562 na seca e 0,525 na chuva), 2017 (0,672 na seca e 0,582 na chuva), 2019 (0,253 na seca e 0,217 na chuva), 2020 (0,230 na seca e 0,222 na chuva) e em 2022 (0,273 na seca e 0,167 na chuva) para a Mata de Cipó (Tabela 1) e em 2022 (0,112 na seca e 0,078 na chuva) para a FLONA (Tabela 2).

Em 2013, O CO<sub>2</sub>Flux na Floresta Estacional Semidecidual Montana obteve o maior valor para a época seca (0,562). Isso pode ser explicado pelo fato de que, nesse intervalo, a temperatura do período chuvoso foi superior (23,01°C) do período seco (21,24°C), influenciando na taxa fotossintética da vegetação. Gomes *et al.*, (2021) também constataram que em épocas no qual a temperatura está elevada, há um menor valor de CO<sub>2</sub>Flux.

Constatado e explicado também por Oliveira *et al.*, (2006) e Santos *et al.*, (2023) que na vegetação da caatinga há mais emissão do CO<sub>2</sub> no período seco, sendo um indicador de baixa atividade fotossintética, justificando-se pelo fato da fotossíntese ser minimizada em função do caráter caducifólio da vegetação e devido à queda das folhas da vegetação, possui uma diminuição da atividade metabólica do ecossistema nesse período.

Enquanto em outros anos, o valor máximo foi registrado na estação chuvosa, sendo para a Mata de Cipó 2014 (0,563 na chuva e 0,500 na seca), 2015 (0,514 na chuva e 0,474 na seca), 2016 (0,464 na chuva e 0,458 na seca), 2018 (0,586 na chuva e 0,480 na seca) e 2021 (0,279 na chuva e 0,216 na seca) (Tabela 1). Já para a



FLONA (Tabela 2), com exceção de 2022, todos os demais anos obtiveram maiores índices na estação chuvosa. Esse fenômeno é característico da caatinga devido à irregularidade nos índices pluviométricos e, conseqüentemente, às variações de temperatura (Trovão *et al.*, 2007).

Para os anos de 2014 a 2016, durante a estação chuvosa, foram registrados valores mais elevados de CO<sub>2</sub>Flux, sendo de 0,563, 0,514 e 0,464, respectivamente. No qual obtiveram uma precipitação de 458,79 mm, 290,03 mm, 442,97 mm de chuva durante a estação. Gomes *et al.* (2021) destacaram que este fato ocorre porque as plantas xerófitas que são arbustivas e arbóreas regeneram sua área foliar durante essa estação, resultando em um aumento na absorção e conseqüentemente aumento no fluxo de carbono, visto que parte desse elemento é extraído da atmosfera e usado em vários processos vitais das plantas.

Observando os valores mais baixos dos fluxos de CO<sub>2</sub> nas florestas, têm-se que utilizando o Landsat 8, para a mata de Cipó, houve um menor valor de 0,458 e 0,464 no ano de 2016 para os períodos seco e chuvoso (Tabela 1). Enquanto que para a FLONA, o menor foi de 0,229 em 2013 durante o período seco e 0,409 em 2018 no chuvoso (Tabela 2).

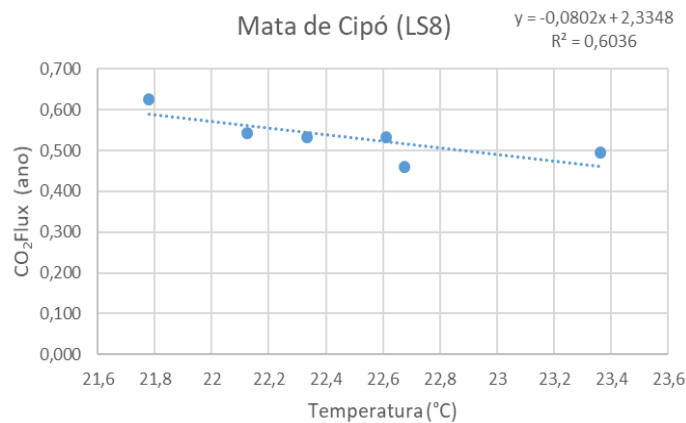
Utilizando o Sentinel 2, na Mata de Cipó obtém um menor valor de 0,216 no período seco para o ano de 2021 e 0,167 em 2022 para o período chuvoso. Já para a FLONA, no período seco o menor valor foi de 0,112 e para o período chuvoso 0,078, ambos no ano de 2022. Oliveira *et al.* (2006) demonstram que a taxa de liberação de CO<sub>2</sub> torna-se nula devido ao fechamento dos estômatos e a perda das folhas como resultado do déficit hídrico.

Há uma variação do fluxo do índice ao decorrer dos anos, sendo possível observar que no ano de 2013 o índice se comportou da mesma forma que a outra área estudada, sendo a época seca com maior valor do que a época chuvosa (Tabelas 1 e 2). Conforme descreve Santos *et al.* (2012) as folhas desempenham um papel importante nas atividades fotossintéticas, contribuindo para a absorção de CO<sub>2</sub> e emissão de O<sub>2</sub> na atmosfera.

Durante os períodos secos esses autores destacam a tendência predominante de liberação de CO<sub>2</sub> das plantas para a atmosfera, devido à escassez de água, a maioria das espécies perderem suas folhas para evitar mais perda de água através da

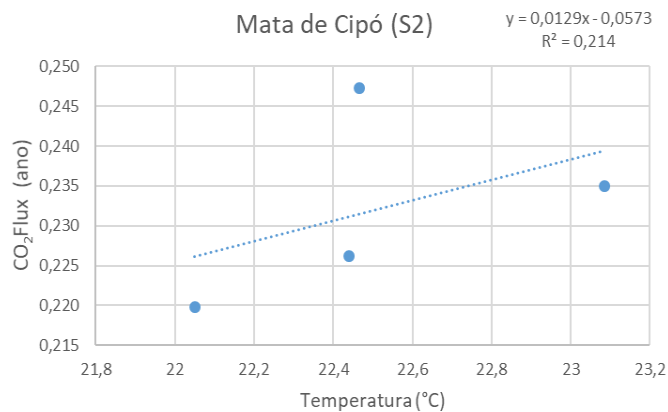
respiração. Sendo uma característica da vegetação caducifólia, às vezes age como uma fonte, outras vezes atua como um dreno (Oliveira *et al.*, 2023).

Os valores de 2013 a 2018 obtiveram uma correlação negativa entre o CO<sub>2</sub>Flux e a temperatura para a Mata de Cipó, ou seja, quando contém um alto CO<sub>2</sub>Flux, a temperatura está mais baixa (Figura 3). Manzato (2018) cita que em temperaturas elevadas, o fluxo de CO<sub>2</sub> pelas plantas diminui devido ao aumento da taxa de respiração e ao fechamento dos estômatos.



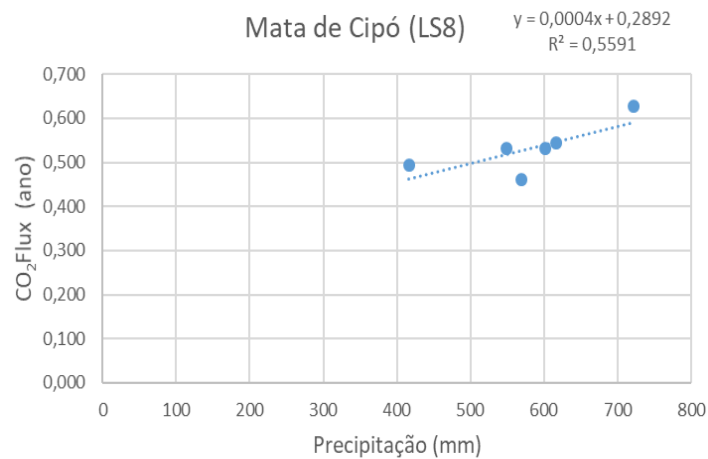
**Figura 3.** Correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a temperatura dos anos de 2013 a 2018 durante o período seco e chuvoso na Mata de Cipó utilizando o Satélite Landsat 8.

Já os valores de 2019 a 2022 obtiveram uma correlação positiva entre o CO<sub>2</sub>Flux e a temperatura, ou seja, quando contém um alto CO<sub>2</sub>Flux, a temperatura também está alta (Figura 4). Porém sua correlação é mais baixa (21%) quando comparada à correlação dos anos anteriores (60%).

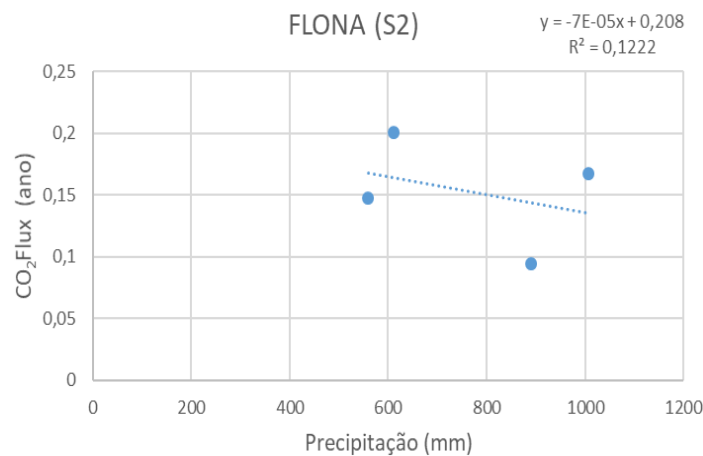


**Figura 4.** Correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a temperatura dos anos de 2019 a 2022 durante o período seco e chuvoso na Mata de Cipó utilizando o Sentinel-2.

Analisando CO<sub>2</sub>Flux com a precipitação para a mata de cipó, observa-se que há uma correlação positiva entre esses parâmetros, ou seja, quando contém um alto CO<sub>2</sub>Flux, a precipitação está alta para os anos de 2013 a 2018 (Figuras 5 e 6). Silva *et al.*, (2015) destacaram em seu estudo que ocorreram pulsos positivos de CO<sub>2</sub> imediatamente após episódios de precipitação, exercendo um impacto significativo no ciclo anual de carbono.

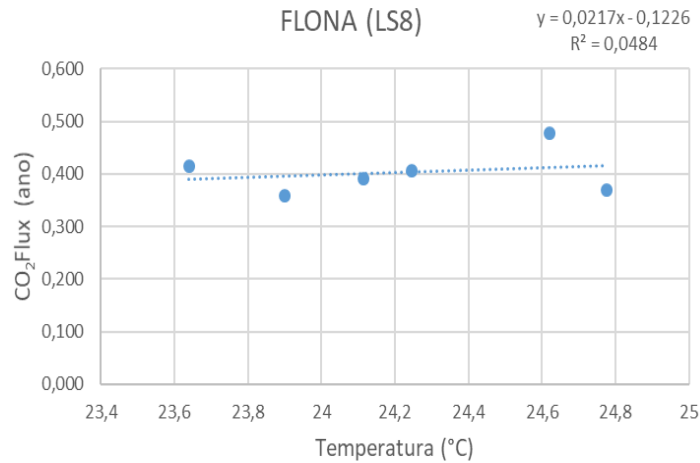


**Figura 5.** Correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a precipitação dos anos de 2013 a 2018 durante o período seco e chuvoso na Mata de Cipó utilizando o Landsat-8.



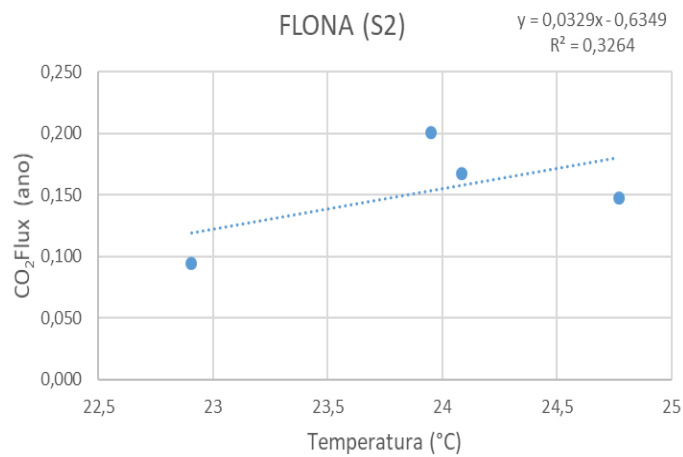
**Figura 6.** Correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a precipitação dos anos de 2019 a 2022 durante o período seco e chuvoso na Mata de Cipó utilizando o Sentinel-2.

A correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a temperatura para a FLONA durante os anos de 2013 a 2018 foi positivo, ou seja, altos fluxos correspondem a altas temperaturas, porém ela não é alta (0,04%).



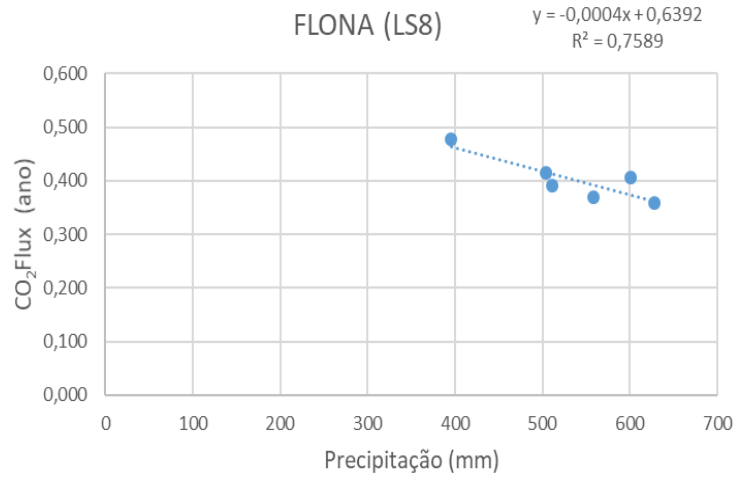
**Figura 7.** Correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a temperatura dos anos de 2013 a 2018 durante o período seco e chuvoso na FLONA utilizando o Landsat-8.

A figura 8 demonstra que nos anos de 2019 a 2022 também possuiu uma correlação positiva entre o CO<sub>2</sub>Flux e a temperatura, porém ainda foi uma correlação baixa (33%).

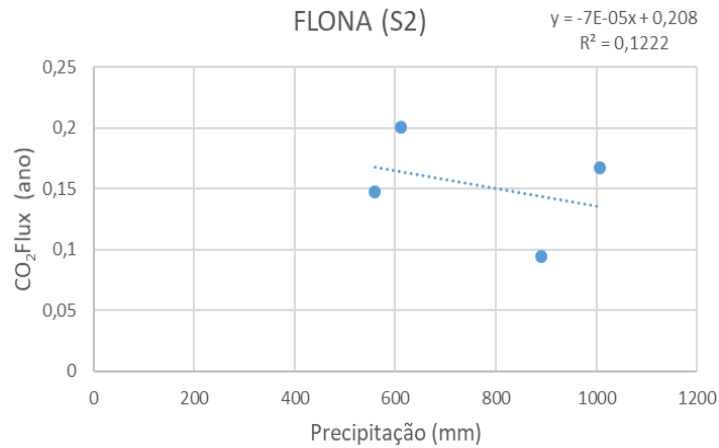


**Figura 8.** Correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a temperatura dos anos de 2019 a 2022 durante o período seco e chuvoso na FLONA utilizando o Sentinel-2.

Enquanto para a correlação do índice com a precipitação para a FLONA o comportamento é negativo, quanto maior a precipitação menor será o CO<sub>2</sub>Flux, observando uma alta correlação para os anos de 2013 a 2018 (76%) e baixa para os anos de 2019 a 2022 (12%) (Figuras 9 e 10).

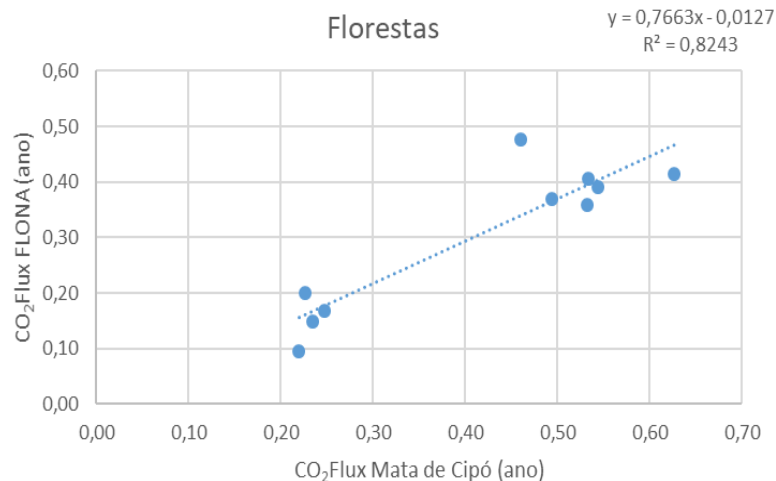


**Figura 9.** Correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a precipitação dos anos de 2013 a 2018 durante o período seco e chuvoso na FLONA utilizando o Landsat-8.



**Figura 10.** Correlação do CO<sub>2</sub>Flux com a precipitação dos anos de 2019 a 2022 durante o período seco e chuvoso na FLONA utilizando o Sentinel-2.

Nos dados da figura 11, observa-se que o CO<sub>2</sub>Flux para as duas florestas possui uma correlação positiva entre si, constatando que ambas contêm características parecidas no fluxo do carbono, no qual quando o fluxo está alto em uma, também estará alto na outra.



**Figura 11.** Correlação entre o CO<sub>2</sub>Flux da Mata de Cipó com o CO<sub>2</sub>Flux da FLONA dos anos de 2013 a 2022 utilizando o Landsat-8 e Sentinel-2.

Realizou-se o teste t Student a 5% de probabilidade e foi constatada a diferença estatística do CO<sub>2</sub>Flux para as 2 florestas por meio do valor de p, uma vez que estas foram menores que o valor de significância estabelecida.

## CONCLUSÕES

O índice espectral para as duas florestas estudadas, se comporta de maneira diferente com relação aos parâmetros de temperatura e precipitação.

Apesar de ser floresta decidual e semidecidual (fisionomias diferentes) possui uma correlação positiva entre elas, demonstrando a semelhança para fluxos de CO<sub>2</sub>.

Há uma discrepância entre os valores do índice de Fluxo de CO<sub>2</sub> quando utilizado os dois satélites, demonstrando que necessitam de mais estudos comparando os dois, visto que a resolução espacial do Landsat 8 é de 30 metros e a do Sentinel é de 10 metros.

Em ambas florestas, o uso de sensoriamento remoto multiespectral permitiu identificar a dinâmica dos fluxos de CO<sub>2</sub> para as áreas de estudo (mata de cipó e FLONA).

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, I.L.; COSTA, H.K.M; MAKUCH, Z., Climate change review and the CCS technology contribution to the climate mitigation challenges, Original Article, **Amb. Soc.**, v 25, 2018.

BARROS, P.H.B; JUNIOR, A.M.F., Combinando Inteligência Artificial e imagens de satélite para a previsão de sinistros agrícolas: Uma nota, **Revista Brasileira de Economia**, v 77, 2023.

GOMES, D.S; BARBOSA, A.S; SANTOS, T.M; SANTOS, S.K; SILVA, J.H.C.S; AQUINO, Í.S., Cinética de liberação de CO<sub>2</sub> e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. **Research, Society and Development**, 10(1): e9810111413, 2021.

GOMES, D.S; SILVA, J.H.C, SANTOS, S; BARBOSA, A. S., CO<sub>2</sub>Flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de caatinga, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.04, 1898-1908, 2021.

MANZATO, C.L., **Estimativa de Biomassa e Estoque de Carbono na Cultura do Eucalipto por meio de Sensoriamento Remoto**. Bauru - SP, 2018. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP.

MORAES, E. de C, INPE, **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**, cap 1, INPE-8984-PUD/62, 2002.

NASA/POWER. **Portal NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources**. Disponível em <https://power.larc.nasa.gov/> Acesso em: 11 nov. 2023.

NUNES, E.H; PECORARO, C.A; GONÇALVES, J.C; MIRANDA, K.D.S; OLIVEIRA, P.A.V.O; JUNIOR, V.H.B; FILHO, J.T., Methods for determining the emission of greenhouse gases is swine farming, **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.27, n.3, p.195-201, 2023.

OLIVEIRA, C. L.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, R. M. S.; DANTAS, A. C.; SOUZA, E. S.; FERREIRA, R. C. 2023. A Caatinga Emite ou Sequestra Carbono? **Revista Brasileira de Geografia Física**, 16, 02, 791-804.

OLIVEIRA, M.B.L; SANTOS, A.J.B; MANZI, A.O; ALVALÁ, R.C.S; CORREIRA, M.F; MOURA, M.S.B., Trocas de Energia e Fluxo de Carbono entre a Vegetação de Caatinga e Atmosfera no Nordeste Brasileiro, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 378-386, 2006.

PIO, A.D., Estrutura e Diversidade de Florestas Estacionais em Áreas de Domínio do Cerrado. Urutaí – GO, 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) – Instituto Federal Goiano.

POLONIO, V.D., **Índices de Vegetação na Mensuração do Estoque de Carbono em Áreas com Cana-de-Açúcar**. Botucatu - SP, 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado em agronomia: Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP.

QURESHI, A; PARIVA; BADOLA, R; HUSSAIN, S.A., Uma Revisão dos Protocolos Utilizados para Avaliação do Estoque de Carbono em Paisagens Florestais, **Ciência e Política Ambiental**, v 16, pg 81 -89, 2012.

SANTOS, C.V.B., **Modelagem Espectral para Determinação de Fluxo de CO<sub>2</sub> em áreas de Caatinga Preservada e em Regeneração**. Feira de Santana - BA, 2017. 75 F. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) - Universidade Estadual de Feira de Santana.

SANTOS, C.V.B; BAPTISTA, G.M.de M; MOURA, M.S.B; SILVA, A.B; FRANCA-ROCHA, W.J.S; CARVALHO, H.F.S; GALVÍNCIO, J.D, Validação de um modelo espectral para determinação de fluxos de CO<sub>2</sub> em áreas do Bioma Caatinga, **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.08, n.03 (2023) 226-239.

SANTOS, S.A.; CORREIA, M.F.; ARAGÃO, M.R.S.; SILVA, P.K.O., 2012. Aspectos da Variabilidade Sazonal da Radiação, Fluxos de Energia e CO<sub>2</sub> em Área de Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 5(4):761-773.

SILVA, J.R.I; SILVA, R.M.S; JUNIOR, E.P.C; ANTONINO, A.C.D; LIMA, J.R.S; SOUZA, E.D., Efeito da precipitação no fluxo de CO<sub>2</sub> em áreas de pastagem e de caatinga, **Anais**, XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal – RN, 2015.

SILVA, M.A.; ANJOS, C.S., 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.

SILVA, A.C.F; FREIRE, F.J; BORGES, C.H.A; ARAUJO, E.C.G; SANTANA, G.M; NETO, E.M.C; SANQUETTA, C.R., Teores de Carbono em espécies florestais da caatinga, **Ciência Florestal**, v. 32, n. 1, p. 71-85, 2022.

SOUZA, J.C; SOUZA, J.A.P; LOPES, E.R.N; PADOVANNI, N.G; MORAES, M.C.M; SALES, J.CA; LOURENÇO, R.W., Avaliação da atividade fotoquímica de diferentes tipos de cobertura vegetal a partir do Índice de Refletância Fotoquímica, **Anais**, XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2017.

TROVÃO, D.M.B; FERNANDES, P.D; ANDRADE, L.A; NETO, J.D., Variações Sazonais de Aspectos Fisiológicos de Espécies da Caatinga, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.307-311, 2007.

### **1 – Ana Júlia Santos Brito:**

Engenheira Florestal

link do Orcid e e-mail: <https://orcid.org/0000-0003-2585-4582> e [anabritopiata@gmail.com](mailto:anabritopiata@gmail.com)

Contribuição: Escrita – Primeira Redação.

### **2 – Odair Lacerda Lemos**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Sistema de Produção

link do Orcid e e-mail: <https://orcid.org/0000-0001-8347-8947> e [olemos@uesb.edu.br](mailto:olemos@uesb.edu.br)

Contribuição: Escrita – Primeira Redação.



## NORMAS DA REVISTA

### Diretrizes para autores:

1. Os trabalhos devem ser organizados conforme descrição abaixo:

1.1. Artigo Científico e Nota Técnica: Título, Resumo, Introdução contendo Revisão de Literatura e objetivos, Materiais e Métodos, Resultados e Discussões, Conclusões, Agradecimentos (se houver) e Referências. Antes do item Referências, se for apropriado, deve-se mencionar a aprovação da Instituição de Ética e Biossegurança.

1.2. Revisão bibliográfica: Título, Resumo, Introdução, Desenvolvimento, Conclusão, Agradecimentos (se houver) e Referências.

2. O manuscrito deve ser elaborado em um editor de texto, como Word, Writer e similares. Não use os formatos de arquivo.tex, .txt e bloco de notas.

3. O trabalho completo não deve exceder a **20 páginas**.

4. Os títulos das figuras, tabelas e quadros **não devem exceder a 3 linhas**. As figuras (gráficos e fotografias) **PODEM SER EM COR**, mas sem contorno. As dimensões (largura e altura) não podem ultrapassar 17 cm, sempre em formato retrato. Recomendamos que você siga as recomendações do Modelo de Artigo para uma nova submissão.

5. As figuras e tabelas devem ser auto-explicativas e alocadas no texto logo após sua primeira chamada, no formato de imagem. A identificação destas deve ser expressa no idioma usado na versão do trabalho. As tabelas também devem ter sua versão no formato Excel e vir como Documento Suplementar, com a nomenclatura Tabela e o número correspondente. As figuras, além de estarem no texto, devem vir como Documento Suplementar, em formato de imagem, com resolução superior a 300 dpi, com nomenclatura de Figura e o número correspondente. Para tabelas com conteúdo numérico, as vírgulas (ou pontos) devem ficar alinhadas verticalmente e os números centralizados na coluna.

6. Nomes científicos devem ter gênero e espécie escritos por extenso (Ex: *Araucaria angustifolia*) e em itálico (e acompanhar o estilo ao qual estão inseridos).

7. Fórmulas devem vir no texto em forma de imagem e, no Documento Suplementar, editadas pelo módulo Equation Editor, do Microsoft Word, devem obedecer à fonte do texto, com símbolos, subscrito/sobrescrito etc., em proporções adequadas, nunca superior a fonte 11. No documento suplementar devem receber a nomenclatura Equação e o número correspondente.

8. Citações bibliográficas serão feitas de acordo com a NBR 10520 da ABNT, usando o sistema "autor-data". Todas as citações mencionadas no texto obrigatoriamente devem ser relacionadas na lista de Referências (e vice-versa),

de acordo com a norma NBR 6023 da ABNT. Já no item REFERÊNCIAS o autor deve colocar todas as citações feitas no trabalho, fazendo uso preferencialmente das referências mais relevantes dos últimos 10 anos e no limite recomendado de 30 citações.

**IMPORTANTE:** Conforme recomendação do serviço de marcação da revista, todos os autores devem ser identificados nas citações/referências. Sendo assim, a expressão et al. não será mais utilizada no texto.

**9.** No momento apropriado o autor será solicitado a inserir os nomes de todos os participantes, que devem ser posicionados logo abaixo do título em inglês, e identificados com número sequencial sobrescrito. O chamamento dos autores deve ser indicado no rodapé da primeira página, antecedido do número de identificação, devendo conter: título de graduação (Ex: Engenheiro Florestal), maior titulação (Ex: Dr.), descrição da função/profissão (Ex: Professor do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria), endereço (Ex: Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil.) e e-mail (Ex: [cienciaflorestal@ufsm.br](mailto:cienciaflorestal@ufsm.br)) sem o ponto final.