

CAPTAÇÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO PELA CAATINGA, EM REGIÕES SEMIÁRIDAS DO NORDESTE DO BRASIL*

CAPTURE OF CARBON DIOXIDE BY THE CAATINGA, IN SEMIARID REGIONS OF NORTHEAST BRASIL

231

Célia Campos Braga

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)
Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
ORCID 0000-0001-6383-3112 celia.braga@ufcg.edu.br

Karla Karem Silva de Lima

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia em Recursos Naturais (Brasil)
ORCID 0000-0001-7157-7155 carlacaren@hotmail.com

Madson Tavares Silva

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)
Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
ORCID 0000-0003-1823-2742 madson.tavares@professor.ufcg.edu.br

Antônia Silânia de Andrade

Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Núcleo de Desertificação (Brasil)
ORCID 0000-0001-9333-8251 antonia.andrade@pesquisa.insa.gov.br

RESUMO

A vegetação é uma das grandes responsáveis pela absorção do dióxido de carbono (CO_2) do planeta, o qual é utilizado no processo de fotossíntese. Uma das variáveis utilizadas para quantificar o CO_2 que um ecossistema absorve é a Produtividade Primária Bruta (GPP), estimada através de sensoriamento remoto e/ou por meio de dados medidos em torres micrometeorológicas. Neste estudo, quantificou-se e analisou-se a captura de CO_2 absorvido pela vegetação caatinga, para duas microrregiões do semiárido paraibano-Brasil (Campina Grande, A1 e Sumé, A2), utilizando dados remotos do sensor MODIS/Terra e de torre micrometeorológica, no período de 2013 a 2017. A GPP foi estimada pelo método de Monteith (1972) e produto MOD17A2H, assim como obtida pelo método da correlação de vórtices turbulentos com medições na torre micrometeorológica instalada na área A1 de Caatinga preservada. Os resultados encontrados mostraram que a relação entre GPP_{ec} (produtividade primária bruta medida pelo método de Eddy covariance) e GPP_{est} (produtividade primária bruta) apresentaram $r=0,79$ e entre GPP_{ec} e GPP_{mod} (produtividade primária bruta estimada pelo produto MOD17A2H) $r=0,66$ para o $\alpha=0,05$ respectivamente. Ressalta-se ainda, que o parâmetro que mais influenciou na GPP foi a precipitação, pois em condições climáticas desfavoráveis, a caatinga capta baixas quantidades de CO_2 , ou seja, fornecendo mais CO_2 para a atmosfera, indicando a importância de sua conservação.

Palavras-chave: Produtividade primária bruta, dióxido de carbono, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Vegetation is largely responsible for the absorption of carbon dioxide (CO_2) from the planet, which is used in the process of photosynthesis. One of the variables used to quantify the CO_2 that an ecosystem absorbs is gGross pPrimary pProductivity (GPP), which is estimated through remote sensing and/or data measured in micrometeorological towers. In this study, the capture of CO_2 absorbed by the caatinga vegetation was quantified and analyzed for two microregions of the semiarid region of Paraíba, Brazil (Campina Grande, A1, and Sumé, A2), using remote data from the MODIS/Terra sensor and a micrometeorological tower from 2013 to 2017. GPP was estimated using the Monteith method (1972) and the MOD17A2H product, as well as also obtained by the turbulent eddies correlation method with measurements from taken at the micrometeorological tower installed in the A1 area of preserved Caatinga. The results showed that the relationship between GPP_{ec} (gross primary productivity measured by the Eddy covariance method) and GPP_{est} (gross primary productivity) presented was $r=0.79$ and between GPP_{ec} and GPP_{mod} (gross primary productivity estimated by the MOD17A2H product) was $r=0.66$ for $\alpha=0.05$ respectively. It is also worth noting that the parameter that most influenced GPP was precipitation, since in unfavourable climatic conditions, the caatinga captures low amounts of CO_2 , that is, providing it supplies more CO_2 to the atmosphere, indicating the importance of its conservation.

Keywords: Gross primary productivity, carbon dioxide, remote sensing.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 28-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 12-11-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

O bioma Caatinga encontra-se bastante alterado, resultado da extração e/ou substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens. O desmatamento e as queimadas ainda são práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária que, além de destruir a cobertura vegetal, prejudica a manutenção de populações da fauna silvestre, a qualidade da água e o equilíbrio do clima e do solo. Segundo os MapBiomias (2023), esse bioma teve 6,8% do percentual de áreas desmatadas no território nacional do Brasil em 2022, o que totaliza 140.637 ha e 18,4% dos alertas. Aproximadamente 80% dos ecossistemas originais já foram antropizados [Instituto Brasileiro de Floresta -IBF (acesso em 13/06/2021)], 31,1 Mha, sendo que destes 25,59% aconteceu nos últimos 37 anos (MapBiomias, 2022).

A preservação da Caatinga é de suma importância para manutenção de outros biomas, já que o ciclo biológico é um dos componentes que auxiliam na manutenção e existência dos demais. Este bioma apresenta características específicas com grande biodiversidade e alto endemismo, com elevada adaptação das plantas às características do semiárido, sendo considerado pelo Ministério do Meio Ambiente como um dos grandes biomas brasileiros, com 734.000 km² (Andrade-Lima, 1981, 1989; Silva, 2015; Silva *et al.*, 2018). Segundo Oliveira *et al.* (2019) a Caatinga tem atualmente apenas 166 Unidades de Conservação cadastradas - UCs, perfazendo um total de 63.677 km². Dentre os estados do Nordeste que possuem mais áreas de Caatinga estão Bahia, Piauí e Ceará, destacando-se o Piauí que reserva cerca de 10% do seu território com Caatinga conservada. Já o Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe e Alagoas possuem menos de 1% de suas áreas de Caatinga em estágio de conservação. A Paraíba tem boa representação da Caatinga, pois suas plantas têm um metabolismo que apresenta grande biodiversidade e capacidade adaptativa as características fisioclimáticas, que é resistente à diversidade climática do semiárido (SENAR, 2015; Silva *et al.*, 2018). Segundo o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) o estado da Paraíba é o mais afetado pela degradação extrema, ou seja, “desertificação”, apresentando ainda a região do Cariri, 59,2% da vegetação degradada (Chaves *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2021).

Estudos realizados em regiões no nordeste da China por Xie *et al.* (2020) mostraram que o declínio no saldo de radiação e precipitação impactam negativamente as tendências na evapotranspiração. Isto foi também detectado em regiões semiáridas do Nordeste do Brasil, os quais mostraram que variabilidade na absorção do CO₂ pela vegetação e, em especial, na Caatinga está fortemente associada aos fatores climáticos que controlam a sazonalidade das chuvas (Souza *et al.* 2015; Silva *et al.*, 2018; Mendes *et al.* 2020).

Quantificar as trocas sazonais e anuais da vegetação, assim como as condições climáticas dos ecossistemas, principalmente a Caatinga, como sumidouro ou fonte de CO₂, é de grande importância para avaliar o sequestro de CO₂ e a Produtividade Primária Bruta (GPP) (Mendes *et al.*, 2020). A GPP pode ser obtida pela relação entre a eficiência de uso da luz (ϵ) e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (RFAA), a qual pode ser estimada a partir de índices de vegetação (Rodrigues, 2018; Silva, 2019).

Nas últimas décadas os níveis de CO₂ atmosférico vêm crescendo cada vez mais e esse aumento está relacionada principalmente à queima de combustíveis fósseis e o desmatamento provocado pelo fogo, dentre outros (Chien *et al.*, 2018; IPCC, 2023). A variabilidade interanual da absorção do CO₂ por sumidouros terrestres, está associado as mudanças do uso da terra e fatores meteorológicos. A alta variabilidade temporal e espacial do balanço do CO₂, efeitos dos aerossóis no fluxo do CO₂ entre a vegetação e atmosfera, e as consequentes trocas de energia, tem sido uma preocupação geral da comunidade científica mundial (Chien *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018; Xie *et al.* 2020; Braghiere *et al.*, 2020; IPCC, 2023). A nível regional, medições de CO₂ sobre diferentes tipos de vegetação tem sido desenvolvido por vários pesquisadores, a exemplo dos trabalhos realizados na região Amazônica brasileira (Gomes *et al.* 2019; Oliveira *et al.* 2021). Para o Cerrado e a Caatinga semiáridas do Nordeste brasileiro, pode-se destacar os estudos realizados por Moraes *et al.* (2017), Silva *et al.* (2018) e Mendes *et al.* (2020). Oliveira *et al.* (2021) investigaram os efeitos da degradação da Caatinga sobre as trocas de água e carbono no semiárido brasileiro. Os autores concluíram que os diferentes tipos de degradação podem reduzir a capacidade do bioma para absorver o CO₂ modificando o microclima regional.

Neste contexto e considerando a necessidade de compreender e precisar melhor o comportamento da caatinga na captura dos GEE, o proposito deste estudo foi avaliar e determinar a GPP com o uso de imagens MODIS com poderção do elemento água derivada do balanço de energia e aferir a qualidade dos resultados com medições de torre micrometeorologica instaladas em áreas de caatinga na região de Campina Grande e Sumé no estado da Paraíba.

Materiais e Métodos

Área de estudo

As áreas de estudo estão localizadas no Semiárido paraibano, cobertas por vegetação Caatinga, em estágio de preservação. A Caatinga cobre originalmente mais de 800.000 km² (IBGE, 2024) que caracteriza-se como uma região de muitas variações ambientais, propiciando a sua

vegetação, uma diversidade em suas características, com grande adaptabilidade. É formada por plantas xerofílicas, como cactos suculentos, árvores crassuláceas com estratos arbustivos adaptados às condições de estiagem, e espécies de porte baixo e médio (Sánchez *et al.*, 2018) com folhas pequenas, que agem como protetoras contra o calor e desidratação, de grande biodiversidade. A Área 1 (A1) é composta de caatinga conservada, localizada no Instituto Nacional do Semiárido (INSA) (7° 16' 47.76"S, 35° 58' 29.21"W), nos arredores da cidade de Campina Grande-PB, no Agreste paraibano com altitude de 546 m, numa área de transição entre a Zona da Mata e Sertão, temperaturas médias anual de 23,5°C, máxima 28,8°C e mínima 20,2°C, respectivamente (INMET, 2018). O clima é considerado tropical com estação seca, umidade relativa máxima, mínima e média situada em torno de 97,8%, 47,8% e 77%, respectivamente. Precipitação média anual aproximadamente de 800 mm (AESa, 2018). Área de 593,026 km², com população estimada de 407.472 habitantes (IBGE, 2017).

A Área 2 (A2), localizada no município de Sumé-Cariri paraibano, dentro da área de Caatinga preservada no campus da Universidade Federal de Campina da Grande -UFCG-PB (7° 39' 38.8"S, 36° 53' 42.4"W). Possui altitude 538 m, temperatura média anual é de 26°C, com a mínima inferior a 20°C e umidade relativa do ar não ultrapassando 75% (Barbosa, 2007), precipitação média

anual 588 mm. Área equivalente a 838,07 km² com população de 16.864 habitantes (IBGE, 2018). Na fig.1 e fig. 2 destacam-se as áreas 1 (A1) e 2 (A2) no estado da Paraíba-PB.

Dados

A estimativa da GPP diária pelo método de Monteith (1972) na vegetação de caatinga foi realizada através da utilização do produto de reflectância e de temperatura da superfície do sensor MODIS/Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (TABELA I). Utilizou-se, ainda, os dados de temperatura do ar e radiação de onda curta da estação micrometeorológica instalada no INSA (Instituto Nacional do Semiárido), região de Campina Grande-PB, no período de 2013 a 2017 e, na estação do CDSA/UFCG (Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido) em Sumé-PB, para o período de 2013 a 2015. Para validação, foram utilizados os dados de fluxo de carbono da torre do INSA medidos pelo anemômetro sônico a cada 30 minutos, (posteriormente integrados para o período de 24h) através da técnica EC na Área 1 (A1). Já na Área 2 (A2) a validação foi realizada através dos dados da GPP (kgC/m²) do produto MOD17A2H, gerado pelo MODIS/Terra que é um composto cumulativo de 8 dias (posteriormente dividido por 8, para obtenção do valor diário) baseado no conceito de

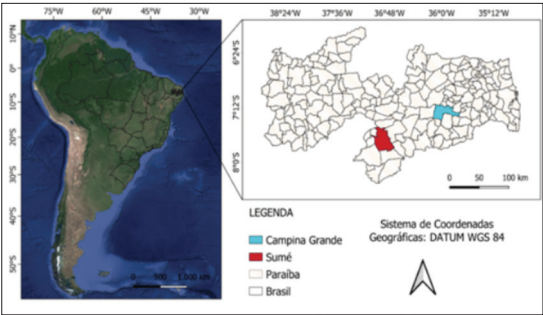


Fig. 1 - Mapa da América do sul destacando as áreas de estudo: Área 1 Campina Grande e Área 2 Sumé (Fonte dos dados: shapefile da AESA).

Fig. 1 - Map of South America highlighting the study areas: Area 1 Campina Grande and Area 2 Sumé (Data source: AESA shapefile).

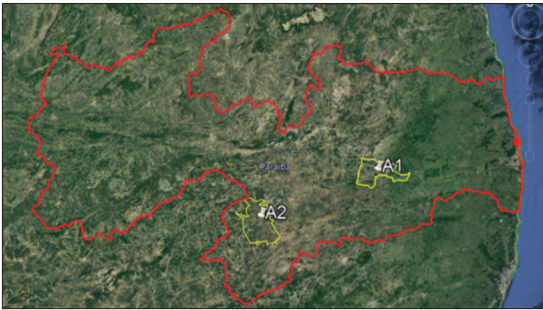


Fig. 2 - Localização detalhada do estado da Paraíba: Área 1 (A1) Campina Grande e Área 2 (A2) Sumé (Fonte dos dados: shapefile da AESA).

Fig. 2 - Detailed location of the state of Paraíba: Area 1 (A1) Campina Grande and Area 2 (A2) Sumé (Data source: AESA shapefile).

TABELA I - Determinação dos produtos do sensor MODIS/Terra utilizados.
TABLE I - Determination of MODIS/Terra sensor products used.

PRODUTOS UTILIZADOS NO COMPUTO DA PPB				
Produto MODIS/Terra	Descrição	Resolução Temporal	Resolução espacial	Unidades
MOD09GA	Reflectância de superfície (bandas 1 a 7)	Diária	1 km e 500 m	Adimensional
MOD11A1	Temperatura da superfície terrestre e Emissividade	Diária	1 km	Kelvin [K]
MOD17A2H	PPB e Fotossíntese	8 dias	1 km	Kg C/m ²

eficiência de uso da luz, devido a indisponibilidade de torre micrometeorológica que meça dados de fluxo. Calculou-se ainda o NDVI diário através do produto de reflectância MOD09GA. Na determinação da temperatura da superfície utilizou-se o produto MOD11A1. Todos os produtos descritos são obtidos na plataforma REVERB/ NASA (<http://reverb.echo.nasa.gov/>). O processamento das imagens foi feito com o ERDAS Imagine versão 9.1 e os mapas temáticos foram elaborados com o software QGIS 2.18.19. Enfim estimou-se a GPP_{est} pela combinação do modelo de estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação proposto por Monteith (1972) com o modelo de estimativa da eficiência de uso da luz de Field *et al.* (1995), em que o fator água foi representado pela fração evaporativa, derivada do balanço de energia, conforme proposto por Bastiaanssen e Ali (2003).

Produtividade Primária Bruta - GPP

A GPP_{est} foi obtida pela combinação do modelo de estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação proposto por Monteith (1972) com o modelo de estimativa da eficiência de uso da luz de Field *et al.* (1995), em que o fator água foi representado pela fração evaporativa, derivada do balanço de energia, conforme proposto por Bastiaanssen e Ali (2003), ou seja:

$$GPP_{est} = RFAA \times LUE \text{ (gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1})$$

onde RFAA (MJ m^{-2}) é a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação e LUE (g C MJ^{-1}) é a eficiência do uso da luz pela vegetação. A RFAA foi obtida em função do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa - RFA, expressa pela equação proposta por Daughtry *et al.* (1995):

$$RFAA = RFA \times (-0,161 + 1,257 \times NDVI) \text{ (MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1})$$

$$NDVI = \frac{R_{p2} - R_{p1}}{R_{p2} + R_{p1}}$$

R_{p2} : Reflectância da banda correspondente ao infravermelho próximo;

R_{p1} : Reflectância da banda correspondente ao vermelho

Por sua vez, a RFA compreende a radiação na faixa espectral de 400 e 700 nm, e pode ser obtida por medições ou estimada em função da radiação solar global diária (Silva *et al.*, 2013; Custódio *et al.*, 2021), segundo:

$$RFA = 0,48 \times R_{s24h} \text{ (MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1})$$

Para a determinação da eficiência do uso da luz utilizou-se a equação de Field *et al.* (1995), modificado por Bastiaanssen e Ali (2003), expressa por:

$$LUE = \epsilon' \times T1 \times T2 \times FE \text{ (gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1})$$

onde ϵ' é a eficiência máxima de uso da luz pela vegetação (igual a $1,8 \text{ gC MJ}^{-1}$).

Segundo Ibrahim (2006), $T1$ e $T2$ são as contribuições da temperatura na eficiência de uso da luz pelas plantas, FE é a fração evaporativa. De acordo com Roerink *et al.* (2000), a FE para cada pixel da imagem de satélite foi extraída através da representação gráfica dos pixels da imagem da temperatura da superfície (T_{sup}) e albedo da superfície (α_s). A equação proposta pelos autores utilizou o algoritmo S-SEBI para determinar os fluxos de calor sensível e latente (Sobrinho *et al.*, 2005; Allen *et al.*, 2007) e, por conseguinte, a FE . Os valores do albedo, necessários para obter-se a FE , foram obtidos com base no MOD09GA e modelo proposto por Tasumi *et al.* (2008), enquanto os dados da T_{sup} foram extraídos do produto MOD11A1.

Método Eddy Covariance para estimativa da GPP

O método Eddy Covariance é denominado de correlação de vórtices turbulentos - EC. As medições foram realizadas em torres micrometeorológicas instalada na Área 1 de caatinga conservada, localizada nas proximidades de Campina Grande-PB (fot. 1). Esse método propicia as estimativas do fluxo de carbono através de trocas turbulentas entre a superfície e a atmosfera, o que possibilita estimar a GPP ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) diária, com base na Produtividade Primária Líquida - NPP ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e respiração do ecossistema - Re ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$), a qual pode ser estimada pela média dos valores do fluxo de carbono noturno, a cada meia hora, integrados posteriormente para um dia. Os valores da torre, originalmente obtidos em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, foram convertidos para a unidade $\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (Rodrigues, 2018).



Fot. 1 - Torre micrometeorológica instalada na Caatinga - Área 1, no Instituto Nacional do Semiárido (INSA) ($7^{\circ}16'47.76''\text{S}$, $35^{\circ}58'29.21''\text{W}$), Campina Grande-PB (Fotografia Célia Campos, tirada 30/04/2022).

Fot. 1 - Micrometeorological tower installed in the Caatinga - Area 1, at the National Semi-Arid Institute (INSA) ($7^{\circ}16'47.76''\text{S}$, $35^{\circ}58'29.21''\text{W}$), Campina Grande-PB (Photography by Célia Campos, taken on 30/04/2022).

A NPP representa o sequestro de carbono atmosférico, o qual sempre supera a respiração do ecossistema (Silva *et al.*, 2013; Senar, 2015; Silva *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2021). A GPPec é dada por:

$$GPP_{ec} = NPP + R_e \text{ (gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}\text{)}$$

Em seguida avaliou-se a consistência dos dados da GPP estimados pelo produto MOD17A2H /Terra (GPP_{mod}) e Monteith (1972) (GPP_{est}) com os medidos de GPP_{ec} na Torre micrometeorologia instalada na Área 1 no INSA em Campina Grande -PB. Para isso utilizou-se as seguintes métricas estatísticas: Erro Relativo Médio - ERM, Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), coeficiente de correlação (r) dada pelas as seguintes expressões (Wilks, 2006).

$$ERM = \sum_{i=1}^n \frac{|x-y|}{n}$$

$$EPAM = \frac{\sum_{i=1}^n |EP|}{n}$$

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x-y)^2}{n}}$$

x: GPP_{est} estimados MODIS/Monteith 72

y: GPPec medido

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x-\bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y-\bar{y})^2]}}$$

Resultados e Discussão

Nesta seção são apresentados e descritos os resultados estimados da GPP a partir da metodologia proposta por Monteith (1972), produto MOD17A2H/Terra e os medidos pelo método Eddy Covariance (EC) obtidos da torre micrometeorológica instalada na Área 1 (INSA), localizada na região semiárida do estado da Paraíba-NEB (fig. 2). Salienta-se que essa região é caracterizada por apresentar alta variabilidade espaço temporal da precipitação e

elevada taxa de evaporação, com bioma predominante Caatinga em suas diversas variedades, desde vegetação esparsa a densa (Morais *et al.*, 2017; Silva, 2019; Oliveira *et al.*, 2021). Considerando a importância do bioma para a biodiversidade e equilíbrio ambiental, buscou-se investigar o comportamento da caatinga e sua vulnerabilidade diante das condições climáticas, provocadas pela escassez de chuvas e os longos períodos de estiagem, que assolam as regiões semiáridas.

A fig. 3a apresenta o histograma dos totais mensais da precipitação de 2013 a 2017 e média mensal climatológica para o período de 24 anos. Já a fig. 3b ilustra as temperaturas médias mensais do ar, máximas e mínimas em Campina Grande-PB 2013 a 2017. Os totais mensais da precipitação destes anos, superaram a média mensal climatológica (curva preta), principalmente em 2013-2014, com valores mais elevados de maio a julho. Pode-se observar que a temperatura média oscilou entre 21,0°C e 25,0°C, com mínimas em julho da ordem de 15,0°C e máximas de janeiro a abril (de 32,5°C a 33,5°C).

As fig. 4a e b representam os histogramas de temperaturas e precipitação para Sumé (A2), respectivamente. Na fig. 4a consta os totais médios mensais de 2013-2015 e a média climatológica da precipitação no período de 24 anos, com máxima no mês de março-abril e mínima em setembro e, total médio anual de 514 mm. Nos anos de 2013 a 2015, observa-se que os valores mensais da precipitação são inferiores aos totais médios mensais climatológicos na maior parte do ano, exceto em 2014 em que a precipitação está acima da média em quase todos os meses. Neste ano, ocorreu chuva acima de 200 mm em março e abril conforme ilustrado na fig 4a. Na fig. 4b consta as médias mensais das temperaturas do ar, máximas e mínimas de 2013-2015. A temperatura média é aproximadamente 25°C, com máxima da ordem de 27°C e mínima 22°C, respectivamente nos anos estudados.

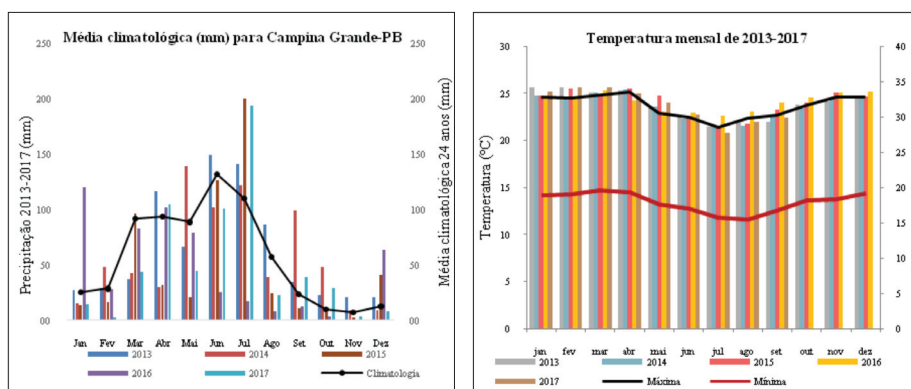


Fig. 3 - Totais mensais de precipitação de 2013 a 2017 e média climatológica da precipitação no período de 24 anos (a) e Médias mensais, máximas e mínimas de temperatura do ar para os anos de 2013 a 2017 de Campina Grande (b) (Fonte: AESA, 2018).

Fig. 3 - Monthly precipitation totals from 2013 to 2017 and climatological average precipitation over the 24-year period (a) and; Monthly averages, maximum and minimum air temperatures for the years 2013 to 2017 in Campina Grande (b) (Source: AESA, 2018).

Com base nos dados, podemos observar que o clima da região 1 e 2 (A1 e A2) são distintos, apesar de pertencerem a mesma região semiárida. Sendo assim, as características edafoclimáticas da vegetação tendem a variar, devido à variabilidade das altas temperaturas, como já era esperado, corroborando com vários estudos realizados no semiárido nordestino (Silva, 2019; Oliveira *et al.*, 2021).

Produtividade Primária Bruta -GPP

A seguir são demonstrados e discutidos os resultados da GPP_{est} determinados a partir de 39 imagens do MODIS-Terra na Área 1 e 29 para Área 2 dos produtos MOD09GA e MOD11A2, conforme proposta, com ponderação do fator água pela Fração Evaporativa- FE, obtida segundo Roerink *et al.* (2000). Bastiaanssen e Ali (2003) e Silva *et al.* (2015) também fizeram uso da FE ao determinarem a GPP para o Egito e Brasil, respectivamente. Os resultados obtidos foram comparados com as medições realizadas em torre micrometeorológica instalada no interior da área de estudo denominada nesta pesquisa de GPP_{ec} . Também os resultados da GPP foram comparados aos extraídos do produto MOD17A2 representados por GPP_{mod} . Os valores da GPP medidos na torre micrometeorológica (GPP_{med}), estimados com dados do MODIS (GPP_{est}) e com o produto MOD17A2H para as duas áreas estão dispostos nas TABELAS II e III.

A partir da metodologia empregada para avaliação da GPP_{est} pode-se observar que a Área 1 apresentou média de $8,61 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, com valores máximos e mínimos de 23,58 e $2,63 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, respectivamente. O ano de 2017 foi o que apresentou maior média com $12,35 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, propiciado pelas maiores chuvas e, menor média de $6,93 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em 2015. Os resultados superam os encontrados por Morais *et al.* (2017) para área de Caatinga em Petrolina-PE nos anos de 2011 e 2012 usando

imagens do MODIS. O erro médio absoluto e percentual entre os valores medidos na torre micrometeorológica e estimados pelo MODIS/Terra foram $3,63 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ e 31,6%, respectivamente e $REQM = 4,57 \text{ gCm}^{-2}$ e entre os valores medidos na torre e MOD17A2H foram $7,47 \text{ gCm}^{-2}$ e 62,15% respectivamente, $REQM = 8,58 \text{ gCm}^{-2}$ (TABELA II). As fig. 5a, 5b e 5c ilustram o diagrama de dispersão e a relação funcional entre os valores estimados pelo método proposto GPP_{est} e medidos na torre GPP_{ec} , assim como, GPP_{est} e obtidos pelo produto GPP_{mod} (MOD17A2H). A fig. 5a ilustra a relação funcional para a Área 1 (Campina Grande) entre GPP_{ec} x GPP_{est} a qual explicou 63% da variância total dos dados ($r = 0,79$) para nível de significância de $\alpha = 0,05$. A GPP_{mod} explicou 43,9% da variância total ($r = 0,66$).

Para a Área 2 (Sumé), a GPP foi estimada apenas pela metodologia proposta por Monteith (1972) e validado através do produto MOD17A2H, porque não se dispunha de torre micrometeorológica na região. A GPP_{est} média nesta área foi $4,77 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, com maior média de $9,13 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em 2014. O erro médio absoluto foi de $2,47 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e percentual de 90,2%, com erro padrão de $REQM = 3,67 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (TABELA III). A fig. 5c, ilustra o diagrama de dispersão e curva de regressão linear entre os valores estimados por Monteith (1972) e os do produto MOD17A2H. A relação funcional entre os dados estimados GPP_{est} e produto GPP_{mod} explicaram 75% da variância total dos dados e $r = 0,88$ para nível de significância de $\alpha = 0,05$. Esses resultados corroboram com Mendes *et al.* (2020) que investigaram duas áreas de caatinga no semiárido paraibano e mostraram que a caatinga funciona como sumidouro de CO_2 , absorvendo uma média de 50% a 34% das duas áreas de estudo, respectivamente. A variabilidades acentuada da GPP em ambas as áreas no período de estudo pode estar relacionada às características fisiológicas da vegetação, cobertura, solo, etc. À medida que esta se encontra em condições

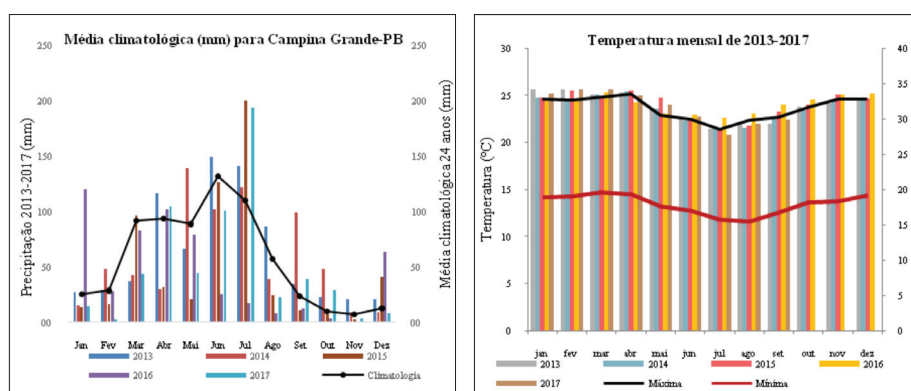


Fig. 4 - Totais mensais de precipitação para o período de 2013 a 2015 e média climatológica da precipitação no período de 24 anos (a); Médias mensais de temperatura do ar para a cidade de Sumé-PB (b) (Fonte: AESA, 2018).

Fig. 4 - Monthly precipitation totals for the period from 2013 to 2015 and 24-year climatological average (a); Monthly air temperature averages for the city of Sumé-PB (b) (Source: AESA, 2018).

desfavoráveis, seja de temperatura ou disponibilidade hídrica, a mesma reduz sua função fotossintetizante economizando energia. Essa redução ocorre através da liberação de sua folhagem. Característica própria de muitas espécies vegetais de regiões tropicais, em particular da caatinga, por sua vez, responsável por sua capacidade adaptativa a condições extremas.

Os resultados encontrados demonstraram que os parâmetros de maior influência na GPP foram a precipitação e temperatura, pois no período estudado, a caatinga teve maior emissão do que captação de carbono, possivelmente ocasionado pelo tipo de metabolismo existente na caatinga que se adapta as características adversas do semiárido, armazenando água e reduzindo seu gasto energético através da perda de folhas para que possa sobreviver por longos períodos de estiagem, ou com baixa precipitação (SENAR, 2015; Silva *et al.*, 2018). Ainda verificou-se que a GPP é diretamente proporcional a chuva, pois a medida que a precipitação aumenta/diminui a GPP tem a mesma resposta (fig. 6a e 6b). Assim, se torna evidente a influência da chuva na captação do CO_2 o que já era esperado, devido a seu processo metabólico, responsável pela absorção do carbono na fotossíntese. Os resultados mostraram que a vegetação caatinga tem tempo de resposta às chuvas de um mês, corroborando com os dados encontrados por Santos (2015) que em seu trabalho sobre fluxos de CO_2 também identificou que a caatinga apresenta reposta ao

estímulo da chuva. O mesmo foi encontrado em estudos realizados por Braga (2000) e Costa (2017) para a região nordeste do Brasil.

O índice de vegetação NDVI é uma das variáveis utilizada na determinação da RFAA no cálculo da GPP. Ele mede o vigor da planta, o NDVI varia entre -1 e 1 depende do tipo de cobertura de cada região (Latorre *et al.*, 2003). Assim ele é um indicador da qualidade ambiental e da capacidade de absorção de biomassa, sendo esta ocasionada pelo processo de fotossíntese, responsável pela absorção do CO_2 , medido através da GPP. Para os anos estudados, os maiores valores em média de NDVI ocorreram em 2014, na Área1 de 0,65 e na Área 2 de 0,48. Os máximos e mínimos no período foram encontrados na Área 1, oscilando entre 0,35 e 0,82 e na Área 2 de 0,17 a 0,68, respectivamente. Pelo exposto a Área 1 apresentou maior vigor da vegetação, consequentemente maior captação de carbono. Isso se explica porque na Área 1 choveu mais que na Área 2.

Isso reflete-se na perda das folhas com a escassez de água, além disso deve-se considerar o estágio de conservação das mesmas. A Área 1 parece ser mais cuidada no que diz respeito as ações antrópicas do que a Área 2, embora ambas sejam áreas em processo de conservação, entretanto essa informação ainda deve ser comprovada a partir de estudos de uso e ocupação das áreas, entre outros.

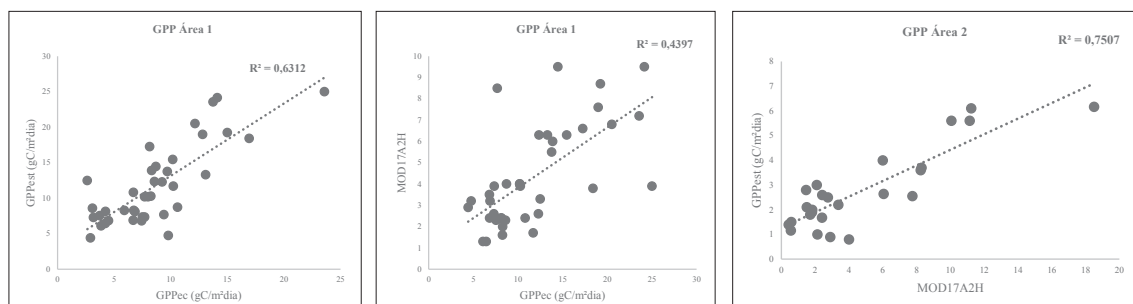


Fig. 5 - Relação funcional entre: a) GPP_{ec} ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e GPP_{est} ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); b) GPP_{est} ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e GPP_{mod} ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) Área 1 e c) GPP_{est} ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e GPP_{mod} ($\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$).

Fig. 5 - Functional relationship between: a) GPP_{ec} ($\text{gCm}^{-2}\text{day}^{-1}$) and GPP_{est} ($\text{gCm}^{-2}\text{day}^{-1}$); b) GPP_{est} ($\text{gCm}^{-2}\text{day}^{-1}$) and GPP_{mod} ($\text{gCm}^{-2}\text{day}^{-1}$) Area 1 and c) GPP_{est} ($\text{gCm}^{-2}\text{day}^{-1}$) and GPP_{mod} ($\text{gCm}^{-2}\text{day}^{-1}$).

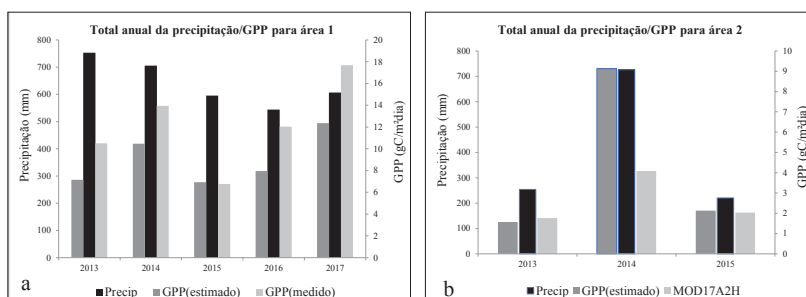


Fig. 6 - Relação da Produtividade Primária Bruta com a precipitação para o período de estudo na Área 1(a) e Área 2(b).

Fig. 6 - Gross Primary Productivity relationship with precipitation for the study period in Area 1(a) and Area 2(b).

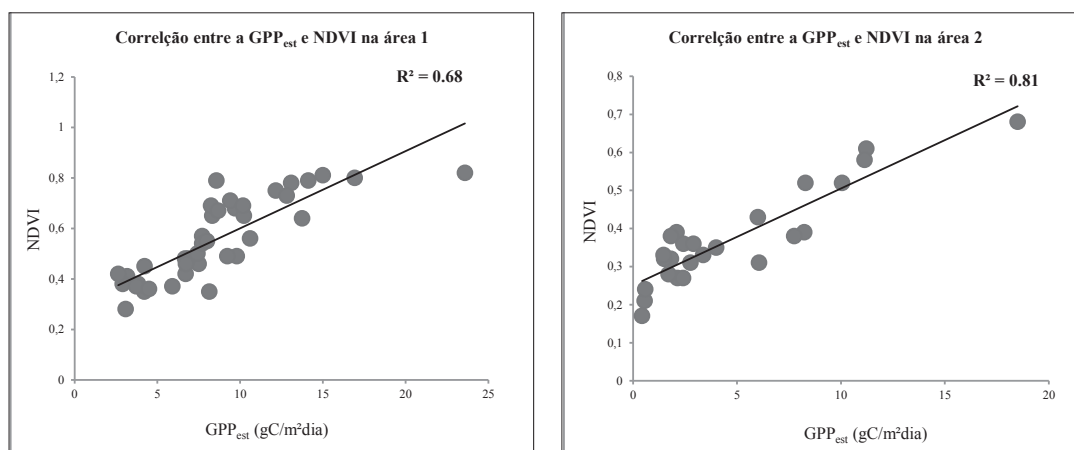


Fig. 7- Relação funcional entre: a) GPP_{est} x NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) Área 1 e b) GPP_{est} (gCm⁻²dia⁻¹) x NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) Área 2 no período de estudo.

Fig. 7 - Functional relationship between: a) GPP_{est} x NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Area 1; and b) GPP_{est} (gCm⁻²day⁻¹) x NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Area 2 in the study period.

A relação entre GPP_{est} x NDVI na Área 1 explica 68% da variância total dos dados da GPP_{est} e NDVI e na Área 2 explica 81% da variância total da GPP_{est} e NDVI (fig. 7). Esses resultados concordam com os encontrados por Felix (2013) para área de caatinga no Semiárido Pernambucano para os anos de 1985 e 2009, demonstrando assim, que o NDVI pode ser usado como indicador da absorção do CO₂ de uma determinada região.

Conclusão

A partir da metodologia empregada por Monteith (1972), do produto MODIS-Terra e método Eddy Covariance - EC instalado na torre micrometeorológica do INSA para a determinação do fluxo de carbono, em áreas de Caatinga preservada na região semiárida do Nordeste do Brasil, conclui-se que:

Nas condições climáticas desfavoráveis do semiárido, a caatinga capta baixos teores de CO₂, fornecendo CO₂ para a atmosfera. Mostrando o quão importante é preservar essa vegetação, para que se tenha uma maior absorção do CO₂ mesmo se tratando de regiões mais secas.

Diante dos resultados observa-se que existe grande influência das variáveis climáticas, precipitação e temperatura. Pois quando a temperatura da superfície se encontra mais elevada, o sistema metabólico da caatinga é prejudicado, desequilibrando o ecossistema.

A preservação do bioma Caatinga é de extrema importância, pois mesmo em condições adversas, ela contribui para a redução dos gases de efeito estufa, participando do equilíbrio climatológico da região, assim como do planeta. Além disto, pode-se perceber a heterogeneidade desta vegetação e seu poder de sobrevivência nas condições semiárida.

Referências bibliográficas

- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (2018). Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>
- Andrade-Lima, D. (1981). The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica*, 149-163.
- Andrade-Lima, D. (1989). *Plantas da Caatinga*. Rio de Janeiro, 243 p.
- Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.133, n.4, 380-394.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380))
- Barbosa, M. R. V., Lima, I. B., Lima, J. R. Cunha, J. P. Agra, M. F. T, W. W. (2007). *Vegetação e flora no Cariri paraibano*. Ed. EDUEPB. Campina Grande, 120 p.
- Bastiaanssen, W. G. M., Ali, S. (2003). A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 94, 321-340.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00034-8)
- Braga, C. C. (2000). *Inter-Relações entre Padrões de Índice de Vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado em Recursos Naturais)*. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande. 124 p.
- Braghiere, R. K., Yamasoe, M. A., Do Rosário, N. M. E., Rocha, H. R., Nogueira, J. S., Araújo, A. C. (2020). Characterization of the radiative impact of aerosols on CO₂ and energy fluxes in the Amazon deforestation arch using artificial neural networks. *Atmospheric*

- Chemistry and Physics*, v. 20, n.6, 3439-3458.
DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-20-3439-2020>
- Chaves, I. D., Francisco, P. R. M., Lima, E. R. V., Chaves, L. H. G. (2015). Modelagem e mapeamento da degradação da Caatinga. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 1, 183-195.
- Chien, H., Zhonga, Y.-Z., Yangb, K.-H., Chenga, H.-Y. (2018). Diurnal variability of CO₂ flux at coastal zone of Taiwan based on eddy covariance observation. *Continental Shelf Research*, v. 162, 27-38.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.04.006>
- Costa, W. L. B. (2017). *Resposta de índices de vegetação às precipitações em regiões do estado da Bahia (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 80 p.
- Custódio, L. L. M., Silva, B. B. Da., Santos, C. A. C. Dos. (2021). Relationship between photosynthetically active radiation and global radiation in Petrolina and Brasília, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, n.9, 612-619.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n9p612-619>
- Daughtry, C.S.T., McMurtrey III, J. E., Chappelle, E. W., Dulaney, W. P., Irons, J. R., Satterwhite, M. B. (1995). Potential for discriminating crop residues from soil by reflectance and fluorescence. *Agronomy Journal*, v.87, n. 2, 165-171.
DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700020005x>
- Felix, M. V. B. (2013). *Variabilidade espaço temporal do estoque de carbono e índice de vegetação em uma área de caatinga por meio de sensoriamento remoto (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 57 p.
- Field, C. B., Randerson, J. T., Malmstrom, C. M. (1995). Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, v.51, n. 1, 74-88.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00066-V](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00066-V)
- Gomes, L. C., Faria, R. M., Souza, E., Veloso, G. V., Shaefer, C. E. G. R., Fernandes Filho, E. I. (2019). Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. *Geoderma*, v.340, n.º 15, 337-350.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.007>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2017). Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2024). Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>
- Ibrahim, A. B. (2006). *An Analysis of Spatial and Temporal Variation of Net Primary Productivity over Peninsular Malaysia Using Satellite Data (PhD. Thesis)*. University Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2018). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- Latorre, M. L., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E., Carvalho Júnior, O. A. (2003). Sensor MODIS: características gerais e aplicações. *Espaço e Geografia*, v.6, n.1.
DOI: <https://doi.org/10.26512/2236-56562003e39720>
- MAPBIOMAS (2022). *Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da terra na Caatinga - Coleção 7*, acessado em 09 jul de 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/MapBiomass_Caatinga_2022_10.10.pdf
- MAPBIOMAS (2023). *Relatório Anual de Desmatamento 2022 -São Paulo - MapBiomass, 2023 - 125 p*. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>
- Mendes, K. R., Campos, S., Da Silva, L. L., Mutti, P. R., Ferreira, R. R., Medeiros, S. S., Perez-Marin, A. M., Marques, T. V., Ramos, T. M., Vieira, M. M. DE L., Oliveira, C. P., Gonçalves, W. A., Costa, G. B., Antonino, A. C. D., Menezes, R. S. C., Bezerra, B. G., E Silva, C. M. S. (2020). Seasonal variation in net ecosystem CO₂ exchange of a Brazilian seasonally dry tropical forest. *Nature Research Intelligence*, v. 10.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66415-w>
- Monteith, J. L. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *The Journal of Applied Ecology*, v.9, 747-766, 1972. DOI: <https://doi.org/10.2307/2401901>
- Morais, Y. C. B., Araújo, M. S. B., Moura, M. S. B., Galvêncio, J. D., Miranda, R. Q. (2017). Análise do sequestro de carbono em áreas de Caatinga do Semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, 14 p.
DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786324007>
- Moura, Y. M., Galvão, I. S., Hilker, T., Wu, J., Saleska, S., Amaral, C. H., Nelson, B. W., Lopes, A. p., Wiedeman, K. K., Prohaska, N., Oliveira, R. C., Machado, C. B., Aragão, L. E. O. C. (2017). Spectral analysis of amazon canopy phenology during the dry season using a tower hyperspectral camera and Modis observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v.131, 52-64.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.006>
- Oliveira, M. L., Santos, C. A.C., Oliveira, G., Perez-Marin, A. M., Santos C. A.G. (2021). Effects of human-

- induced land degradation on water and carbon fluxes in two different Brazilian dryland soil covers. *Science of The Total Environment*, v. 792.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148458>
- Oliveira, C. D. L., Silva, A. P.A., Moura, P. A. G. (2019). Distribuição e importância das unidades de conservação no domínio Caatinga. v.42, n.1.
DOI: https://doi.org/10.11137/2019_1_425_429
- Rodrigues, C. C. F. (2018). *Produtividade Primária Bruta para áreas de cana-de-açúcar e cerrado na Bacia Hidrográfica do Mogi-Guaçu - SP (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal de Campina Grande. 73 p.
- Roerink, G. J., SU, Z., Menenti, M. (2000). A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. *Physics and Chemistry of the Earth* (B), v. 25, 147-157.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(99\)00128-8](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(99)00128-8)
- Sánchez, A. S., Almeida, M. B., Torres, E. A., Kalid, R. A., Cohim, E., Gasparatos, A. (2018). Alternative Biodiesel Feedstock Systems in the Semi-Arid Region of Brazil: Implications for Ecosystem Services. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.81.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.080>
- Santos, F. A. C. (2015). *Estimativa dos fluxos de CO2 e evapotranspiração em áreas de caatinga em recuperação e degradada no estado da Paraíba (Tese de Doutorado)*. Universidade Federal de Campina Grande, 125 p.
- SENAR - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (2015). Técnicas de produção vegetal. Brasília, 150 p.
- Silva, B. B., Galvêncio, J. D., Montenegro, S. M. G. L., Machado, C. C. C., Oliveira, L. M. O., Moura, M. S. B. (2013). Determinação por sensoriamento remoto da Produtividade Primária Bruta do perímetro irrigado São Gonçalo-PB. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 1.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000100006>
- Silva, K. K. (2015). *Comportamento fenomenológico de Mimosa opthalmocentra Mart. Ex Benth. Em uma área de Caatinga no semiárido paraibano, Brasil (Trabalho de Conclusão de Curso-TCC)*. Curso de Engenharia de Biossistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé - Paraíba - Brasil, 57f. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/5546>
- Silva, K. K. (2019). *Avaliação da produtividade primária bruta da caatinga do semiárido paraibano (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal da Campina Grande.
- Silva, M. J. G., Querino, C. A. S., Santos Neto, L. A., Machado, N. G., Militão, J. S., Biudes, M. S. (2018). Efeito da ocupação do solo sobre o clima de Porto Velho, Rondônia, Brasil. *Ra'Ega*, v.43, 232-251.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.48753>
- Souza, B. I., Artigas, R. C., Lima, E. R. V. (2015). Caatinga e desertificação. *Mercator*, v. 14, n. 1, 131-150.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4215/RM2015.1401.0009>
- Sobrinho, J. A., Gómez, M., Jiménezmuñoz, J. C., Oliso, A., Chehbouni, G. (2005). A simple algorithm to estimate evapotranspiration from DAIS data: Application to the DAISEX Campaigns. *Journal of Hydrology*, v.315, 117-125.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.027>
- Tasumi, M., Allen, R. G., Trezza, R. (2008). At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.13, 51-63.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:2\(51\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(51))
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. ed. London, Academic Press, 649 p.
- Xie, S., Mo, X., Liu, S. (2020). Contributions of climate change, elevated atmospheric CO2 and human activities to ET and GPP trends in the Three-North Region of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 295, n.15, 1-14.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108183>

territorium 32 (N.º Especial)

Anexos

TABELA II - Dados diários da PPB ($\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) para caatinga na área 1 estimado pela metodologia sugerida (PPB_{est}), MOD17A2H, torre micrometeorológica (PPB_{med}).

TABLE II - Daily PPB data ($\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) for caatinga in area 1 estimated by the suggested methodology (PPB_{est}), MOD17A2H, micrometeorological tower (PPB_{med}).

ÁREA 1									
DATA	DOA	PPBet $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$	PPBmed $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$	EA $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$	EP (%)	(MOD17A2H) $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$	PPBmed $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$	EA $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$	EP (%)
26/02/2013	57	3,18	7,3	4,12	56,43	2,6	7,3	4,7	64,38
15/04/2013	105	7,5	7,34	0,16	2,17	2,5	7,34	4,84	65,94
06/05/2013	126	8,14	17,27	9,13	52,86	6,6	17,27	10,67	61,78
22/05/2013	142	13,09	13,3	0,21	1,57	6,3	13,3	7,0	52,63
28/08/2013	240	9,69	13,77	4,08	29,62	5,5	13,77	8,27	60,06
22/10/2013	295	4,21	6,44	2,23	34,62	1,3	6,44	5,14	79,81
04/12/2013	338	4,23	8,15	3,92	48,09	2,4	8,15	5,75	70,55
03/03/2014	62	10,6	8,73	1,87	21,42	4	8,73	4,73	54,18
20/04/2014	110	6,85	8,12	1,27	15,64	2,4	8,12	5,72	70,44
20/05/2014	140	8,57	12,36	3,79	30,66	6,3	12,36	6,06	49,03
16/06/2014	167	15	19,24	4,24	22,03	8,7	19,24	10,54	54,8
02/07/2014	183	13,74	23,58	9,84	41,73	7,2	23,58	16,38	69,47
02/09/2014	245	10,23	11,71	1,48	12,63	1,7	11,71	10,01	85,5
25/09/2014	268	8,31	13,9	5,59	40,21	6	13,9	7,9	56,83
17/01/2015	17	2,9	4,42	1,52	34,38	2,9	4,42	1,52	34,4
27/01/2015	27	3,84	6,09	2,25	36,94	1,3	6,09	4,79	78,7
01/04/2015	91	6,68	6,88	0,2	2,90	3,2	6,88	3,68	53,5
21/04/2015	111	7,43	6,8	0,63	9,26	3,5	6,8	3,3	48,53
30/04/2015	120	9,79	4,76	5,03	105,67	3,2	4,76	1,56	32,8
05/05/2015	125	7,7	7,34	0,36	4,90	3,9	7,34	3,44	46,87
13/06/2015	164	9,4	7,68	1,72	22,39	8,5	7,68	0,82	10,68
28/09/2015	271	7,7	10,21	2,51	24,58	4	10,21	6,21	60,82
12/02/2016	43	23,58	25,02	1,44	5,75	3,9	25,02	21,12	84,41
17/06/2016	169	12,15	20,52	8,37	40,78	6,8	20,52	13,72	66,86
24/06/2016	176	10,18	15,46	5,28	34,15	6,3	15,46	9,16	59,3
29/06/2016	181	8,25	10,28	2,03	19,74	3,9	10,28	6,38	62,1
30/06/2016	182	8	10,2	2,2	21,56	4	10,2	6,2	60,9
26/07/2016	208	6,7	10,81	4,11	38,02	2,4	10,81	8,41	77,8
13/08/2016	226	6,73	8,28	1,55	18,71	1,6	8,28	6,68	80,7
19/09/2016	263	2,63	12,5	9,87	78,96	3,3	12,5	9,2	73,6
24/11/2016	329	5,9	8,29	2,39	28,82	2	8,29	6,29	75,87
01/12/2016	336	3,09	8,6	5,51	64,06	2,3	8,6	6,3	73,26
03/12/2016	338	3,73	7,55	3,82	50,59	2,3	7,55	5,25	69,54
08/12/2016	343	4,5	6,83	2,33	34,11	2,4	6,83	4,43	64,86
21/04/2017	111	9,23	12,3	3,07	24,95	2,6	12,3	9,7	78,86
12/05/2017	132	16,93	18,41	1,48	8,03	3,8	18,41	14,61	79,36
14/05/2017	134	8,68	14,47	5,79	40,01	9,5	14,47	4,97	34,4
05/08/2017	217	14,12	24,15	10,03	41,53	9,5	24,15	14,65	60,7
12/08/2017	224	12,81	19	6,19	32,57	7,6	19	11,4	60
MÉDIA		8,61	11,74	3,63	31,6	4,31	11,74	7,47	62,15
REQM		4,57				8,58			

TABELA III - Dados diários da PPB ($\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) para caatinga na Área 2 estimado pela metodologia sugerida ($\text{PPB}_{\text{estimado}}$), MOD17A2H.
TABLE III - Daily PPB data ($\text{gC m}^{-2}\text{day}^{-1}$) for caatinga in Area 2 estimated by the suggested methodology ($\text{PPB}_{\text{estimated}}$), MOD17A2H.

ÁREA 2					
DATA	Ordem do dia	PPBest $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	MOD17A2H $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	EA $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	EP (%)
26/02/2013	57	2,14	1	1,14	114
15/04/2013	105	1,83	2	0,17	8,5
06/05/2013	126	2,1	3	0,9	30
22/05/2013	142	1,5	2,1	0,6	28,57
28/08/2013	240	2,41	1,68	0,73	43,45
22/10/2013	295	0,43	1,4	0,97	69,29
04/12/2013	338	0,56	1,16	0,6	51,72
03/03/2014	62	4	0,8	3,2	400,00
20/04/2014	110	8,3	3,7	4,6	124,32
20/05/2014	140	18,5	6,17	12,33	199,84
16/06/2014	167	11,23	6,11	5,12	83,80
30/06/2014	181	11,14	5,6	5,54	98,93
02/07/2014	183	10,06	5,6	4,46	79,64
01/08/2014	213	6	4	2	50,00
19/08/2014	231	8,24	3,6	4,64	128,89
02/09/2014	245	7,75	2,55	5,2	203,92
25/09/2014	268	6,06	2,64	3,42	129,55
17/01/2015	17	1,71	1,8	0,09	5,00
27/01/2015	27	3,38	2,2	1,18	53,64
01/04/2015	91	2,76	2,5	0,26	10,40
21/04/2015	111	2,42	2,6	0,18	6,92
30/04/2015	120	1,82	1,9	0,08	4,21
05/05/2015	125	1,47	2,8	1,33	47,50
13/06/2015	164	2,9	0,9	2	222,22
28/09/2015	271	0,59	1,5	0,91	60,67
MÉDIA		4,77	2,77	2,47	90,2
REQM				3,67	