

# PRODUÇÃO DE BIOMASSA E SUAS ANOMALIAS NOS BIOMAS DO SEALBA DETECTADAS POR SENSORIAMENTO REMOTO

Ana Flávia Maria Santos Azevedo <sup>1</sup>; Antônio Heriberto de Castro Teixeira <sup>2</sup>; Inajá Francisco de Souza <sup>2</sup>; Janice Freitas Leivas <sup>3</sup>; Celina Maki Takemura <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente, Mestrado PRORH. São Cristóvão, Sergipe. Universidade Federal de Sergipe; <sup>2</sup>Professor. São Cristóvão, Sergipe. Universidade Federal de Sergipe; <sup>3</sup>Presquisador. Campinas, São Paulo. Embrapa Territorial

## RESUMO

Parâmetros obtidos por sensoriamento remoto foram usados em conjunto com dados climáticos para caracterização das condições médias e detecção de anomalias na produção de biomassa (BIO), através de índices padronizados, considerando os anos 2018, 2019, 2020 e 2021 e os períodos históricos de 2007 até cada um desses anos, classificando-se os biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT), dentro da zona de crescimento agrícola na costa do Nordeste do Brasil, limitada pelos estados de Sergipe (SE), Alagoas (AL) e Bahia (BA), chamada SEALBA. Foram usados o algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) e o modelo da RUE (Radiation Use Efficiency) de Monteith com imagens MODIS no período de 2007 a 2021. Com relação aos valores máximos da BIO, acima de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , tanto para FA como para CT, estes ocorrem no mês de agosto, logo após o período chuvoso, indicando as melhores condições de vigor da vegetação. As menores taxas da BIO ocorrem de janeiro a fevereiro, durante o período mais seco, com os valores médios abaixo de  $50$  e  $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  nos biomas FA e CT, respectivamente, indicando piores condições de umidade na zona das raízes. Das análises das anomalias, entre os anos de 2018 e 2021, os desvios das condições ótimas da BIO puderam ser identificados quando comparados com aquelas para os períodos históricos, com potencial para suporte, tanto na indicação de épocas de plantio para a agricultura de sequeiro, como na recomendação de irrigação suplementar para agricultura irrigada

**PALAVRAS-CHAVE:** SAFER; Floresta Atlântica; Caatinga,;

## INTRODUÇÃO

Nos cenários de mudanças climáticas e de uso da terra, o uso conjunto de sensoriamento remoto por satélites e dados climáticos são alternativas adequadas para o monitoramento das condições hídricas e da vegetação, dando suporte às políticas públicas para o manejo racional dos recursos naturais (Teixeira et al., 2020, 2021a, b). A compreensão dessas condições é crítica para restaurações ecológicas (Zhang e Zhang, 2019), demandando estudos em larga escala que orientem explorações sustentáveis desses recursos (Santos et al., 2020). Aplicações de imagens de satélites, com diferentes escalas temporais e espaciais, permitem a detecção de anomalias nas condições da produção de biomassa (BIO) para períodos específicos (Beguería et al. 2014; Bento et al. 2018; Gouveia et al. 2017; Zhang et al. 2019).

Índices padronizados para detecção de anomalias em larga escala têm sido geralmente baseados medições da evapotranspiração (ET) para estudos dos recursos hídricos (Kim e Rhee 2016; Vicente-Serrano et al. 2018). Por outro lado, o Índice da Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI) vem sendo largamente usado para indicação dos níveis de umidade e cobertura do solo pela vegetação (Bento et al. 2018), o qual foi desenvolvido por Peters et al. (2002), para descrever a probabilidade de variação de um valor normal sobre um longo período de dados. Entretanto, para refletir o estresse hídrico na vegetação, os valores de NDVI apresentam atrasos nas respostas (Zhang et al. 2019). Além do NDVI, outros parâmetros, derivados de sensoriamento remoto são importantes, como a BIO, que é um indicador das condições da vegetação mais robusto (Teixeira et al. 2021a, b).

*Nos biomas costeiros da região Nordeste do Brasil, existem várias espécies vegetais que estão sofrendo impactos ambientais que afetam a BIO, como desflorestamentos; aquecimentos; poluições da água, do solo e do ar; e ainda da intensiva mudança de uso da terra (Lewinsohn e Prado, 2005), como é o caso do SEALBA, região de crescimento agrícola envolvendo os estados de Sergipe (SE), Alagoas (AL) e Bahia (BA). Essa região possui diferentes tipos de vegetação dos biomas Caatinga (CT) e Floresta Atlântica (FA) que estão sendo substituída por culturas agrícolas, demandando estudos em larga-escala para dar suporte aos consumos incrementais dos recursos naturais (RIBEIRO et al., 2009; Santos et al., 2014; Silva et al., 2017).*

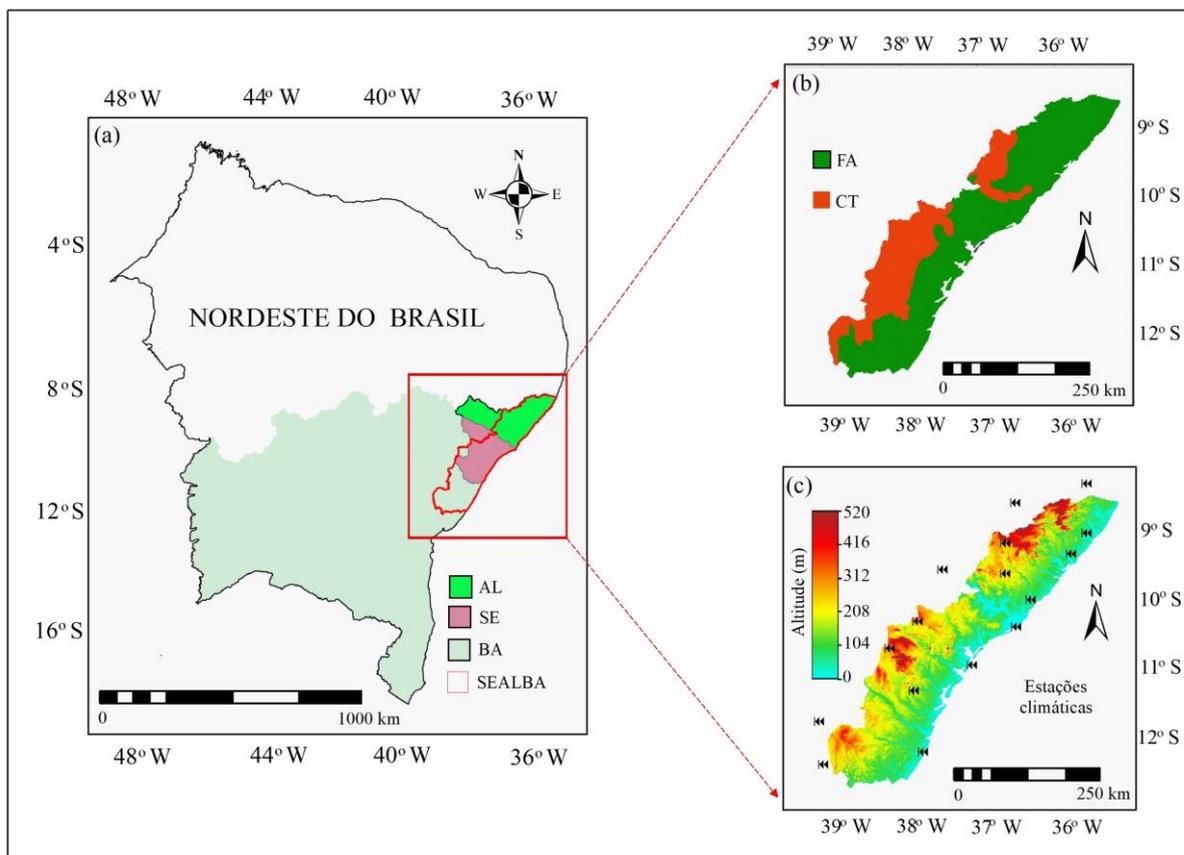
## **OBJETIVOS**

*Objetivando a implementação de um sistema de monitoramento para monitoramento da BIO em biomas com instabilidade climática e mudanças de uso da terra, tomando SEALBA como referência, testamos o uso de imagens de sensoriamento remoto com aplicação do algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving), desenvolvido por Teixeira (2010), com o RUE (Radiation Use Efficiency) de Monteith (1977) em conjunto com dados climáticos de 2007 a 2021, para determinação das condições médias e ao longo dos anos da vegetação. Além de caracterizações das condições médias da BIO, análises de suas anomalias para períodos específicos do ano foram realizadas e o sucesso dessas aplicações pode encorajar replicações dos métodos em outras condições ambientais usando simples calibrações nas equações de modelagem*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Área de estudo*

*A Figura 1 mostra a localização do SEALBA no Nordeste do Brasil com seus limites nos estados de Sergipe - SE, Alagoas - AL e Bahia - BA (Fig. 1a); seus biomas Floresta Atlântica - FA e Caatinga - CT (Fig. 1b); e estações climáticas destacando-se as altitudes (Fig. 1c).*



**Figura 1:** Localização da região do SEALBA no Nordeste do Brasil envolvendo os estados de Sergipe - SE, Alagoas - AL e Bahia - BA (Fig. 1a); seus biomas Floresta Atlântica - FA e Caatinga - CT (Fig. 1b); e estações climáticas juntamente destacando-se as altitudes (Fig. 1c).

O bioma FA, com clima tropical úmido, é composto por florestas e ecossistemas associados às planícies costeiras (Ribeiro et al., 2009). As condições ambientais são influenciadas por massas de ar úmidas vindo do Oceano Atlântico, as quais elevam a temperatura e a umidade do ar, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (Francisquini et al., 2020). O bioma CT compõe-se de árvores e arbustos com estruturas para resistência às condições ambientais inóspitas (Almagro et al. 2017), e as plantas apresentando resiliência quando em situações de estresse hídrico (Beuchle et al. 2015). A vegetação natural de ambos os biomas dentro do SEALBA vem sendo substituída por culturas agrícolas, como grãos, fruteiras, cana-de-açúcar, silvicultura e pastagem (Procópio et al. 2019).

Os dados climáticos de entrada para a modelagem da BIO foram provenientes de 16 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo a radiação solar global incidente ( $R_G$ ) e a temperatura do ar ( $T_a$ ), cobrindo toda a região do SEALBA, possibilitando a interpolação pelo método "movimento da média", no que resultou em pixels com a resolução das imagens de satélite. Esses dados foram usados em conjunto com o produto reflectância MOD13Q1, com resoluções temporal de 16 dias e espacial de 250 m, fornecendo 23 imagens compostas livres de nuvens ao longo do ano (Teixeira et al. 2020, 2021a).

#### Modelagem da produção de biomassa e suas anomalias

A Figura 2 apresenta o fluxograma para a modelagem da BIO e suas anomalias com aplicação do algoritmo SAFER e o modelo RUE. Obtiveram-se primeiramente os parâmetros de entrada por sensoriamento remoto, os quais são o Índice da Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI), o

albedo da superfície ( $\alpha_0$ ) e a temperatura da superfície ( $T_0$ ), combinando-os com as grades de  $R_G$  e  $T_a$ .

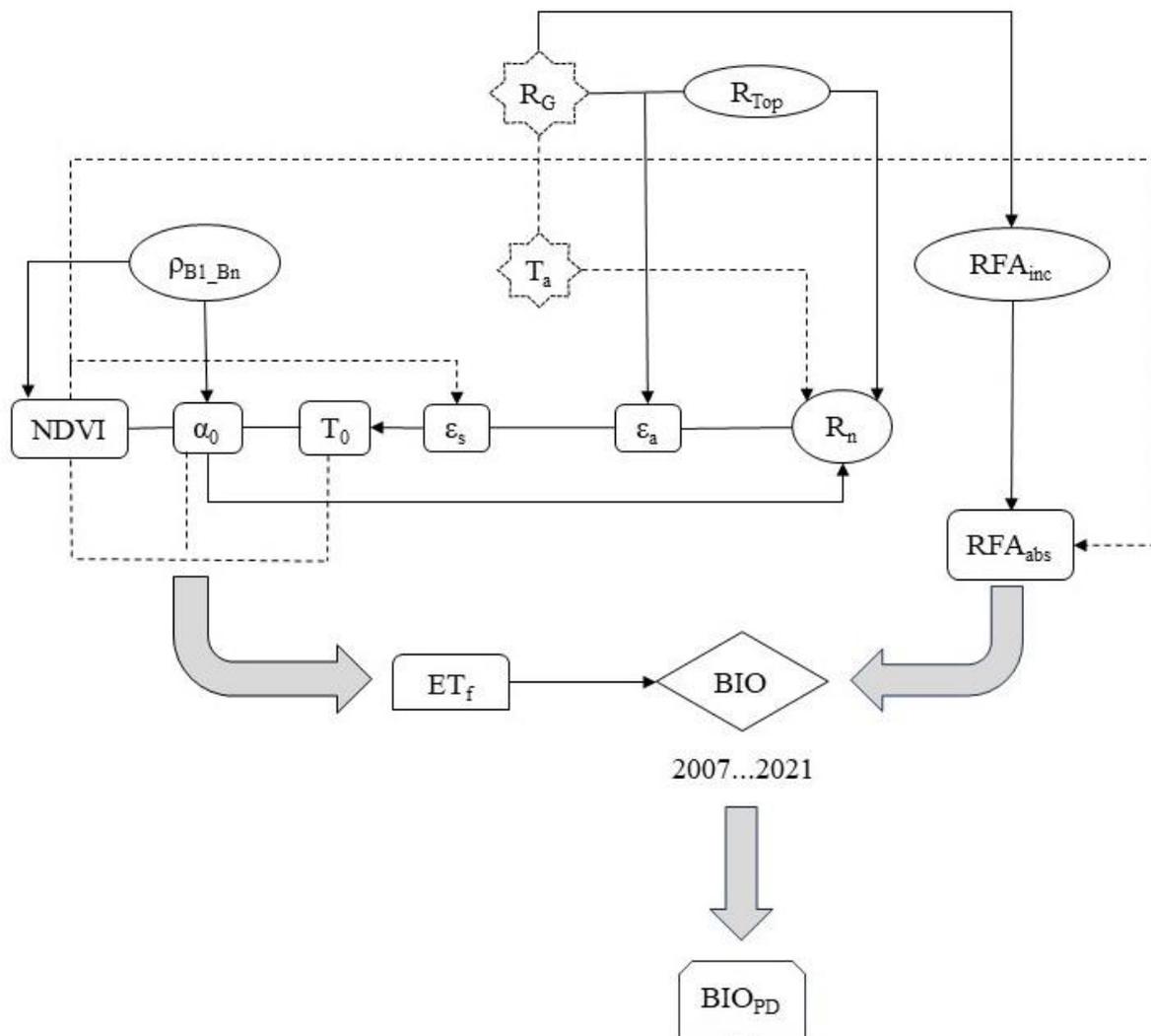


Figura 2: Fluxograma para obtenção da produção de biomassa (BIO) com aplicação conjunta do algoritmo SAFER e do modelo RUE com imagens MODIS com grades de radiação solar global incidente ( $R_G$ ) e temperatura média do ar ( $T_a$ ).

As equações e coeficientes de regressão das equações envolvidas na Figura 2 foram previamente obtidos na região Nordeste do Brasil com medições simultâneas em campo e por satélite, com a metodologia descrita detalhadamente em Teixeira (2010).

O NDVI foi calculado como:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

onde  $\rho_1$  e  $\rho_2$  são as reflectâncias nas bandas 1 (vermelho) e 2 (infravermelho próximo) provenientes do sensor MODIS.

O  $\alpha_0$  foi calculado como:

$$\alpha_0 = a + b\rho_1 + c\rho_2$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são coeficientes de regressão 0,08, 0,41, e 0,14.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi estimado pela equação de Slob:

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_L \tau_{sw}$$

onde  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica para comprimento de ondas curtas considerada como a razão entre  $R_G$  e a radiação incidente no topo da atmosfera ( $R_{TOP}$ ) sendo  $a_L$  um coeficiente de regressão em função de  $T_a$ .

A emissividade atmosférica ( $\varepsilon_A$ ) foi calculada por:

$$\varepsilon_A = a_A (\ln \tau_{sw})^{b_A}$$

onde  $a_A$  e  $b_A$  são os coeficientes de regressão 0,94 e 0,11, respectivamente.

A emissividade da superfície foi estimada como:

$$\varepsilon_0 = a_0 \ln NDVI + b_0$$

onde  $a_0$  e  $b_0$  são os coeficientes de regressão 0,06 e 1,00, respectivamente.

Pelo método residual  $T_0$  foi estimada pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$T_0 = \frac{\sqrt[4]{R_G (1 - \alpha_0) + \sigma \varepsilon_A T_a^4 - R_n}}{\sigma \varepsilon_0}$$

onde é  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

Para inserção das condições de umidade na zona das raízes no cálculo da BIO, a fração evapotranspirativa ( $ET_f$ ), i.e., a razão da evapotranspiração atual ( $ET$ ) para a de referência ( $ET_0$ ), foi modelada:

$$ET_f = \exp \left[ a_{sf} + b_{sf} \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \left( \frac{ET_{ano}}{5} \right)$$

onde  $a_{sf}$  e  $b_{sf}$  são os coeficientes de regressão 1,80 e -0,008, respectivamente.

Para estimativa da radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $RFA_{inc}$ ), esta foi considerada como uma fração de  $R_G$ :

$$RFA_{inc} = a_R R_G$$

onde o coeficiente de regressão  $a_R$  usado foi de 0,44.

Os valores da radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $RFA_{abs}$ ) foram calculados como:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

em que o fator  $f_{RAF}$  foi estimado do NDVI:

$$\alpha_0 = a + b\rho_1 + c\rho_2$$

onde  $a_F$  e  $b_F$  são coeficientes de regressão considerados como 1,257 e -0,161, respectivamente (Bastiaanssen e Ali, 2003).

A BIO foi então quantificada como:

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_L \tau_{sw}$$

onde  $\varepsilon_{max}$  é eficiência máxima de uso da luz, a qual para a maioria das plantas C3 no SEALBA foi assumida como 2,45 g MJ<sup>-1</sup>, e 0,864 é um fator de conversão.

Para determinação das anomalias na BIO, considerando os períodos anuais e de 16 dias do produto MODIS MOD13Q1, a equação do índice padronizado abaixo foi usada (Leivas et al., 2014; Teixeira et al., 2021a):

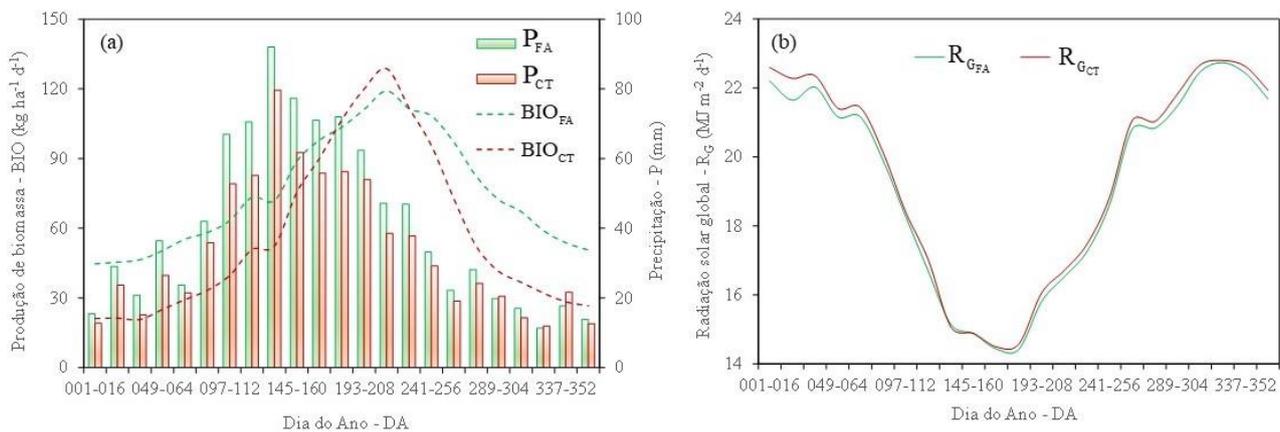
$$\varepsilon_A = a_A (\ln \tau_{sw})^{b_A}$$

onde  $BIO_{PD}$  é o índice padronizado,  $BIO_{med}$  é a média histórica (15 anos) e  $BIO_{DP}$  é o desvio padrão pixel a pixel.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Condições médias da produção de biomassa

Como para a BIO os parâmetros climáticos mais atuantes são a precipitação ( $P$ ) e a radiação solar global incidente ( $R_G$ ), a Figura 3 apresenta os valores médios desses três parâmetros nos biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT) dentro do SEALBA, na escala de 16 dias das imagens MODIS, para o período de 2007 a 2021, em termos de Dia do Ano (DA).



**Figura 3: Média dos pixels para produção de biomassa - BIO e precipitação - P (Fig. 2a) e radiação solar global -  $R_G$  (Fig. 2b) nos biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT) dentro do SEALBA, na escala temporal de 16 dias das imagens MODIS para o período de 2007 a 2021, em termos de Dia do Ano (DA).**

Da Figura 3a, observa-se que as chuvas se concentram no meio do ano tanto para o bioma FA como para o bioma CT. Os maiores valores de  $P$  ocorrem de abril a julho (DA 097-208), quando os totais médios para 16 dias ficam acima de 60 mm em FA e maior que 50 mm em CT. Os valores inferiores de  $P$ , inferiores a 15 mm em ambos os biomas, são de novembro a janeiro (DA 305-016). Na escala anual, o total médio em CT, com  $780 \text{ mm ano}^{-1}$ , é 83% daquele para FA ( $936 \text{ mm ano}^{-1}$ ).

A  $R_G$  apresenta uma tendência inversa à de  $P$  ao longo do ano (Fig. 3b). Seus limites superiores são no início (janeiro a março, DA 001-064) e no final do ano (novembro a dezembro, DA 305-336), com valores médios para 16 dias acima de  $22,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  em ambos os biomas. Os inferiores acontecem no meio do ano de maio a julho (DA 145-192), quando estas são abaixo de  $15,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Entretanto, poucas diferenças existem nos valores de  $R_G$  entre os biomas quando comparadas com  $P$ , sendo a média em FA 99% daquela para CT.

Pela Figura 3a, percebe-se que os maiores valores da BIO acontecem de junho (DA 177) a agosto (DA 240), com valores médios para 16 dias acima de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  em ambos os biomas, após o período chuvoso. As menores taxas ocorrem no início do ano, de janeiro a fevereiro (DA 001-048), durante o período mais seco, quando ficam abaixo de 50 e  $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  nos biomas FA e CT, respectivamente. Na escala anual, a BIO média em FA, com  $75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , é 32% superior à de CT, com o valor de  $57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  para este último bioma. Mesmo com taxas inferiores em CT, há um curto período de tempo, no final da estação chuvosa, de junho a agosto (DA 177-224), que os valores da BIO neste bioma superam aqueles para FA, mostrando uma maior resposta à disponibilidade de água das chuvas.

Comparando-se as Figuras 3a e 3b, percebe-se que a BIO, nos biomas FA e CT dentro do SEALBA, é mais influenciada pelas variações na quantidade de chuvas do que pelos níveis de radiação solar e que há um atraso em torno de dois meses nos valores máximos da BIO com relação a  $P$ , isto devido ao tempo que a umidade na zona das raízes leva para atingir os níveis ótimos para as plantas. Os maiores valores da BIO para o bioma FA são explicados pelo volume superior de chuvas, mas quando as condições hídricas não são limitantes, os valores mais elevados em CT se devem a uma maior energia disponível (Seneviratne et al., 2010).

Através de medições em campo de 2014 a 2015 no bioma CT, Silva et al. (2017) reportaram que as espécies naturais do bioma CT agem como fontes de carbono para a atmosfera durante os períodos mais secos, resultando em valores mais baixos da BIO, e como consumidoras de carbono na

estação chuvosa, resultando em valores maiores. Pereira et al. (2020) confirmam que em CT, as taxas da BIO decrescem sob condições de estresse hídrico, resultando em rápidas mudanças na dinâmica do carbono, pois essas condições afetam a fenologia, sazonalidade da condutância dos estômatos e fotossíntese. Rebello et al. (2020), usando imagens MODIS de 2012 a 2015, reportaram que o estresse hídrico impacta significativamente as taxas da BIO no bioma FA, seguido de uma forte recuperação com o início da estação chuvosa. Teixeira et al. (2020), aplicando o algoritmo SAFER em imagens MODIS, encontraram valores anuais da BIO de 47 a 93 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, para FA dentro da bacia do Rio São Francisco. Esses estudos prévios corroboram com os resultados apresentados na Figura 3a.

#### Anomalias na produção de biomassa

A Figura 4 apresenta as distribuições espaciais, médias e desvios padrões (DP) dos valores anuais da produção de biomassa - BIO (Fig. 3a) e para seu índice padronizado - PD (Fig. 3b), considerando as condições médias para os períodos de 2007 a 2018, 2007 a 2019, 2007 a 2020 e 2007 a 2021, nos biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT), dentro do SEALBA.

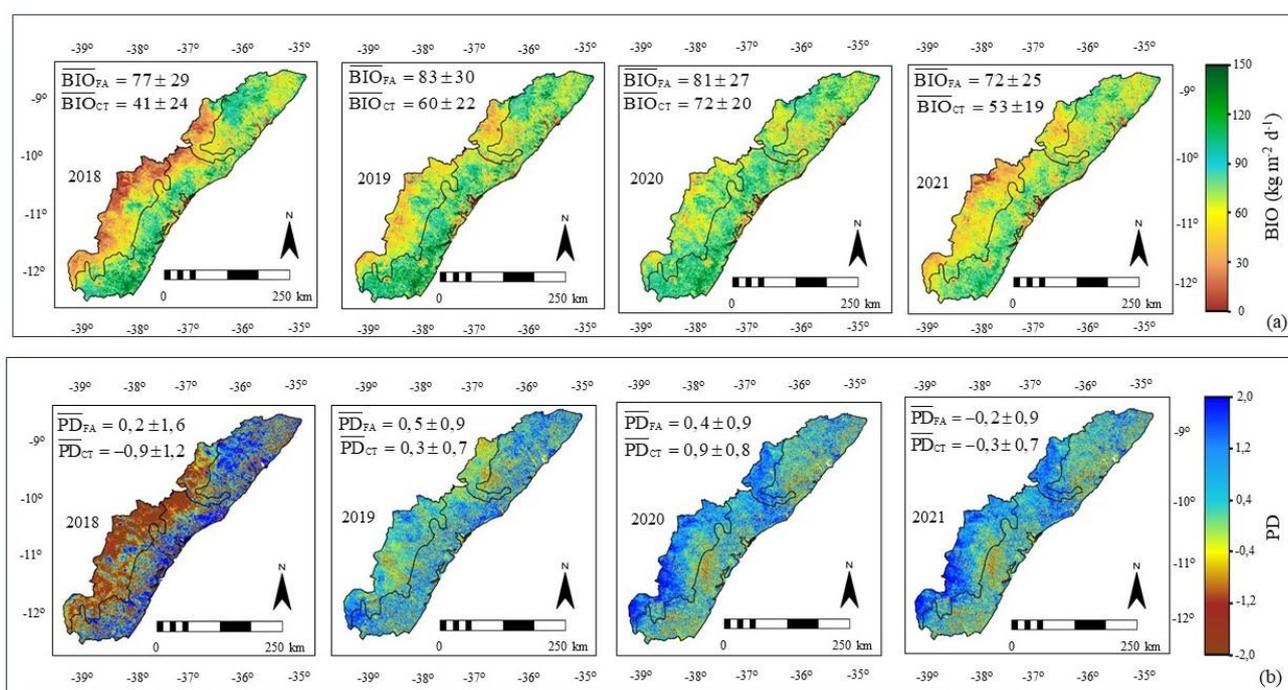


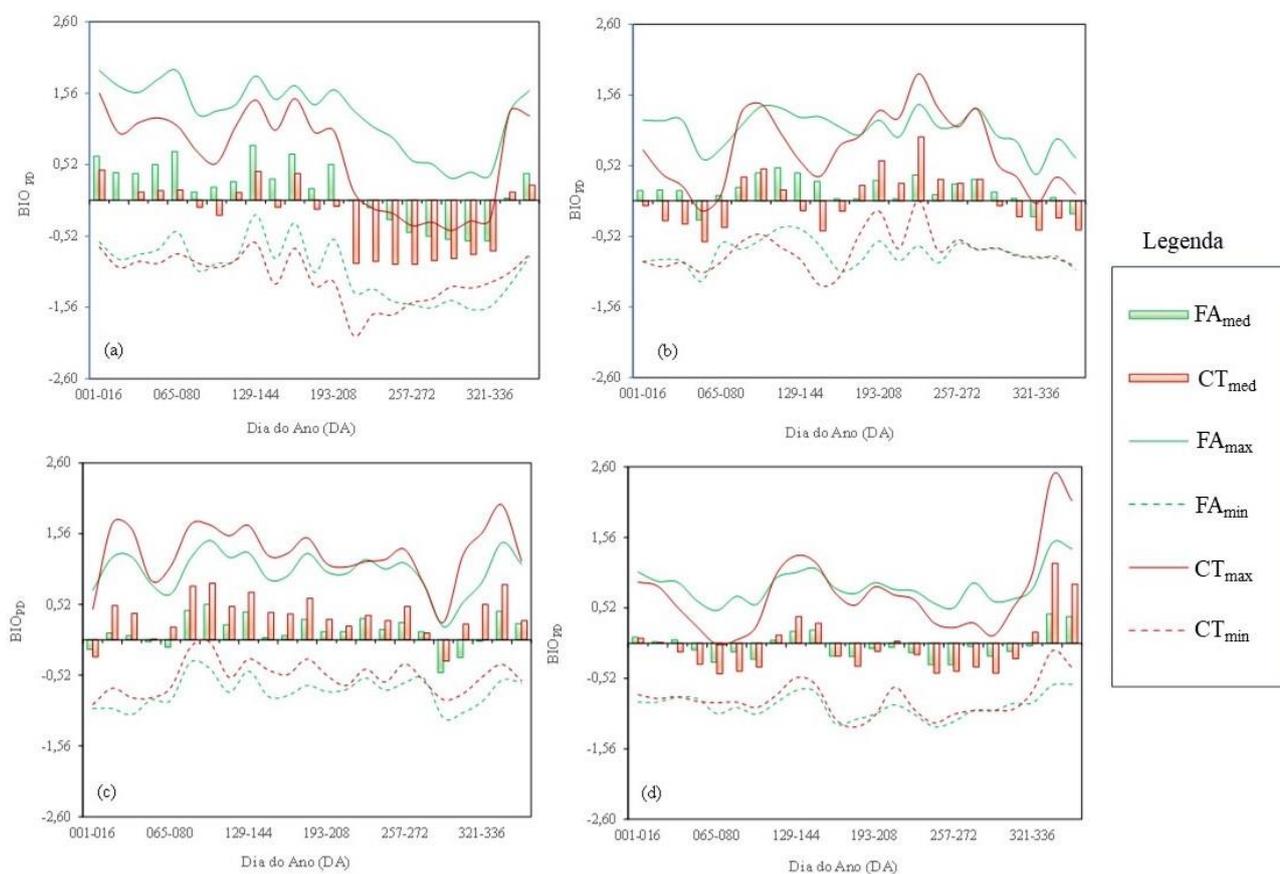
Figura 4. Distribuições espaciais, médias e desvios padrões dos valores anuais da produção de biomassa - BIO (Fig. 3a) e para seu índice padronizado - PD (Fig. 3b), considerando as condições médias para os períodos de 2007 a 2018, 2007 a 2019, 2007 a 2020 e 2007 a 2021, nos biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT), dentro do SEALBA.

De acordo com a Figura 4a, para todos os anos analisados (2018 a 2021), os valores da BIO para o bioma FA foram em torno de 13 a 88% maiores que aqueles para CT, sendo os mais elevados em 2020, quando a média para o SEALBA foi de 77 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. As menores taxas da BIO aconteceram em 2018, quando a média para a região foi de 59 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, enquanto as maiores, acima de 70 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> foram em 2019 e 2020, indicando que, em geral, com exceção do ano de 2018, a região apresentou boas condições para as culturas agrícolas sob dependência de chuvas, com valores médios anuais da BIO acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> no bioma FA e maior que 70 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> no bioma CT, para o ano de 2020.

Os valores de PD para BIO apresentados na Figura 4b, permitem a identificação de quanto, durante os anos de 2018 a 2021, as condições da vegetação diferem das condições médias até cada

ano analisado (2007-2018, 2007-2019, 2007-2020 e 2007-2021), na escala anual (Leivas et al. 2014; Teixeira et al., 2021a). Valores elevados da PD indicam melhores condições de umidade na zona das raízes, enquanto baixos valores traduzem condições de estresse hídrico (Teixeira et al., 2021a). Os valores mais negativos aconteceram no ano de 2018 em CT, com a média de -0,9 indicando condições de vigor da vegetação abaixo da média histórica (2007-2018). Entretanto os valores positivos maiores foram também para CT, mas em 2020, quando a média de 0,9 indicou situações mais frequentes de condições da BIO acima das médias. Valores anuais positivos de PD, em ambos os biomas nos anos de 2019 e 2020, indicaram bons níveis de umidade na zona das raízes e de energia disponível, na região do SEALBA, com melhores condições para agricultura de sequeiro, quando comparadas com as condições históricas (Teixeira et al., 2021a).

De acordo com as médias dos pixels e desvios padrões, a Figura 5 mostra os valores máximos ( $max$ ), médios ( $med$ ) e mínimos ( $min$ ) do índice padronizado da produção de biomassa ( $BIO_{PD}$ ) para os biomas FA e CT dentro do SEALBA, na escala temporal de 16 dias das imagens MODIS, em termos de Dia do Ano (DA), considerando os períodos históricos de 2007-2018 (Fig. 5a), 2007-2019 (Fig. 5b), 2007-2020 (Fig. 5c) e 2007-2021 (Fig. 5d).



**Figura 5.** Valores máximos ( $max$ ), médios ( $med$ ) e mínimos ( $min$ ), para os índices padronizados da produção de biomassa ( $BIO_{PD}$ ), na escala temporal de 16 dias das imagens MODIS em termos de Dias do Ano (DA), para os biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT) dentro do SEALBA, considerando os períodos de 2007 a 2018 (Fig. 5a), 2007 a 2019 (Fig. 5b), 2007 a 2020 (Fig. 5c) e 2007 a 2021 (Fig. 5d).

Para o período 2007-2018 (Fig. 5a), os valores médios positivos de  $BIO_{PD}$  se concentraram de janeiro a junho (DA 001-176) e em dezembro (DA 337-365) em ambos os biomas ( $FA_{med}$  e  $CT_{med}$ ), significando elevados níveis de umidade na zona das raízes e de energia disponível neste período do ano de 2018, com relação às condições médias (2007 a 2018). Os valores máximos de  $BIO_{PD}$  para FA ( $FA_{max} = 0,80$ ) aconteceram em maio (DA 129-144), mas para CT estes foram no início

de janeiro (DJ 001-016), quando chegou ao limite superior de 0,44. Os valores mínimos de  $BIO_{PD}$  em FA aconteceram em novembro ( $FA_{min} = -0,59$ , DA 305-320), enquanto para CT estes foram de agosto para setembro ( $CT_{min} = -0,93$ , DA 241-272), indicando níveis da BIO abaixo das condições médias de 2007 a 2018.

Considerando o período de 2007 a 2019 (Fig. 5b), ocorreram valores positivos de  $BIO_{PD}$  para o bioma FA praticamente durante o ano todo de 2019, enquanto para CT estes se concentraram mais no segundo semestre. Os valores máximos para o bioma FA foram de abril a maio ( $FA_{max} = 0,49$ , DA 113-128), enquanto para CT estes aconteceram em agosto ( $CT_{max} = 1,78$ , DA 225-240), indicando melhores taxas da BIO quando comparadas com as condições médias de 2007 a 2019. Os valores inferiores de  $BIO_{PD}$  foram de fevereiro a março (DJ 049-064) em ambos os biomas, sendo  $FA_{min}$  de -0,28 e  $CT_{min}$  de -0,60. Estes últimos valores de  $BIO_{PD}$  evidenciaram taxas da BIO para 2019 bem inferiores às condições médias, o que pode ter impactado negativamente a agricultura de sequeiro nesse período do ano.

Analisando os valores de  $BIO_{PD}$  para 2020 (Fig. 5c), percebem-se poucas situações com valores negativos em ambos os biomas, FA e CT, significando melhores condições da BIO, quando comparados com os outros anos analisados, traduzindo melhores condições para a agricultura. Os valores máximos de PD em ambos os biomas foi em abril (DA 097-112) com  $FA_{max}$  e  $CT_{max}$  de 0,52 e 0,83, respectivamente. Com relação aos valores mínimos, estes aconteceram em ambos os biomas no mês de outubro (DA 289-304), com  $FA_{MIN}$  de -0,48 e  $CT_{MIN}$  de -0,31, retratando piores condições da BIO nesse período com relação às condições médias de 2007 a 2020, com potencial de impacto negativo para a agricultura de sequeiro.

Para o período 2007-2021 (Fig. 5d), a maioria dos valores de  $BIO_{PD}$  foram negativos, tanto para FA como para CT, mas com poucas ocasiões que foram positivos ao longo do ano de 2021, o que se traduz em condições ruins para a agricultura quando comparadas com as dos anos anteriores analisados. Os valores máximos de 0,43 e 1,18 para FA e CT, respectivamente, ocorreram em dezembro (DJ 337-352), indicando condições ótimas de vigor das plantas, com relação às condições médias de 2007 a 2021. Os valores mínimos para FA aconteceram de agosto a setembro (DA 241-272), com  $FA_{min}$  de -0,32, enquanto para CT estes foram em março (DA 065-080), períodos evidenciando condições de baixo vigor vegetativo com relação às condições médias.

## CONCLUSÃO

Foi confirmada a viabilidade da aplicação conjunta do algoritmo SAFER e do modelo RUE com imagens MODIS e dados climáticos na determinação da dinâmica da produção de biomassa (BIO) e de suas anomalias em larga escala com uma longa série de dados, na região de crescimento agrícola do SEALBA.

A BIO, nos biomas Floresta Atlântica e Caatinga é mais influenciada pelas variações na quantidade de chuvas do que pelos níveis de radiação solar, havendo um atraso em torno de dois meses nos seus valores máximos com relação as precipitações, devido ao tempo que a umidade na zona das raízes leva para atingir os níveis ótimos para as plantas. Os maiores valores da BIO para a Floresta Atlântica com relação à Caatinga são explicados pelo volume superior de chuvas, mas quando as condições hídricas não são limitantes, os valores mais elevados na Caatinga se devem a uma maior energia disponível.

Das análises das anomalias, entre os anos de 2008 e 2021, os desvios das condições ótimas da BIO puderam ser identificados quando comparados com aquelas para os períodos históricos, com potencial para suporte, tanto na indicação de épocas de plantio para a agricultura de sequeiro, como na recomendação de irrigação suplementar para agricultura irrigada. Tomou-se como

*referência a região do SEALBA, mas o sucesso das aplicações incentiva aplicações em outras condições ambientais.*

#### **AGRADECIMENTOS**

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo à mestranda, M. S. A. Ana Flávia e ao CNPq, pelo suporte financeiro ao projeto "Monitoramento dos balanços de energia, de água e de carbono com geotecnologias na região do SEALBA", Processo 311532/2021-7.*

#### **REFERÊNCIAS**

*Almagro, A.; Oliveira, P.T.S.; Nearing, M.A. Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. Scientific Reports, v. 7, p. 8130, 2017.*

*Bastiaanssen, W.G.M.; Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 94, p. 321-340, 2003.*

*Beguiría, S.; Vicente-Serrano, S.M.; Reig, F.; Latorre, B. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets, and drought monitoring. International Journal of Climatology, v. 34, p. 3001-3023, 2014.*

*Bento, V.A.; Gouveia, C.M.; DaCamara, C.C.; Trigo, I.F. A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. Agricultural and Forest Meteorology, v. 259, p. 286-295, 2018.*

*Beuchle, R.; Grecchi R.C.; Shimabukuro, Y.E.; Seliger, R.; Eva, H.D.; Sano, E.; Achard, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. Applied Geography, v. 58, p. 116-127, 2015.*

*Francisquini, M.I.; Lorente, F.L.; Pessenda, L.C.R.; Junior, A.A.B.; Mayle F.E.; Cohen, M.C.L.; França, M.C.; Bendassolli, J.A.; Giannini, P.C.F.; Schiavo, J.A.; Macario, K. Cold and humid Atlantic Rainforest during the last glacial maximum, northern Espírito Santo state, southeastern Brazil. Quarterly Science Review, v. 244, p. 106489, 2020.*

*Gouveia, C.; Trigo, R.M.; Beguiría, S.; Vicente-Serrano, S.M. Drought impacts on vegetation activity in the Mediterranean region: an assessment using remote sensing data and multi-scale drought indicators. Global Planetary Change, v. 151, pp. 15-27, 2017.*

*Kim, D.; Rhee, J. A drought index based on actual evapotranspiration from the Bouchet hypothesis. Geophysical Research Letters, v. 43, p. 10277-10285, 2016.*

*Leivas, J.F.; Andrade, R.G.; Victoria, D. de C.; Torresan, F.E., Bolfe, E.L. Monitoramento da seca 2011/2012 no Nordeste Brasileiro a partir do satélite SPOT-Veg e Ta TiOn e TRMM. Engenharia na Agricultura, v. 22, p. 211-221, 2014.*

*Lewinsohn, T.M.; Prado, P.I. How many species are there in Brazil? Conservation Biology, v. 19, p. 619-624, 2005.*

*Monteith, J.L. Climate and efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society B, v. 281, p. 277-294, 1977.*

- Pereira, M.P. S.; Mendes, K.R.; Justino, F.J.; Couto, F.; Silva, A.S. da, Silva, D.F. da, Malhado, A.C.M. Brazilian dry forest (Caatinga) response to multiple ENSO: the role of Atlantic and Pacific Ocean. Science of the Total Environment, v. 705, 135717, 2020.*
- Peters, A.J.; Walter-Shea, E.A.; Ji, L.; Vina, A.; Hayes, M.; Svoboda, M.D. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 68, p. 71-75, 2002.*
- Procopio, S. de O.; Cruz, M.A.S.; Almeida, M.R.M. de; Jesus Junior, L.A. de; Nogueira Junior, L.R.; Carvalho, H.W.L. de. Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. (Embrapa Tabuleiros Costeiros, Documentos, 221).*
- Rebello, V.P.A., Getirana, A., Filho, O.C.R., Lakshmi, V. Spatiotemporal vegetation response to extreme droughts in eastern Brazil. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 18, 100294, 2020.*
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J.; Hirota, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. Biological Conservation, v. 142, p. 1141-1153, 2009.*
- Santos, J.E.O.; Cunha, F.F.; Filgueiras, R.; Silva, G.H.; Teixeira, A.H. de C.; Silva, F.C.S.; Sedyama, G.C. Performance of SAFER evapotranspiration using missing meteorological data. Agricultural Water Management, v. 233, p. 1-8, 2020.*
- Santos, M.G.; Oliveira, M.T.; Figueiredo, K.V. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? Theoretical and Experimental Plant Physiology, v. 26, p. 83-99, 2014.*
- SENEVIRATNE, S.I.; CORTI, T.; DAVIN, E.L.; HIRSCHI, M.; JAEGER, E.B.; LEHNER, I.; ORLOWSKY, B.; TEULING, A.J. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. Earth Science Review, v. 99, p. 125-161, 2010.*
- Silva, P.F. da; Lima, J.R. de S.; Antonino, A.C.D.; Souza, R.; Souza, E.S. de; Silva, J.R.I.; Alves, E.M. Seasonal patterns of carbon dioxide, water, and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. Journal of Arid Environments, v. 147, p. 71-82, 2017.*
- Teixeira, A.H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco River basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. Remote Sensing, v. 2, p. 1287-1319, 2010.*
- Teixeira, A.H. de C; Takemura, C.M.; Leivas J.F.; Pacheco, E.P.; Silva, G.B.; Garçon, E.A.M. Water productivity monitoring by using geotechnological tools in contrasting social and environmental conditions: Applications in the São Francisco River basin, Brazil. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 18 p. 1- 9, 2020.*
- Teixeira, A.H. de C; Leivas J.F.; Pacheco, E.P.; Garçon, E.A.M.; Takemura, C.M. Biophysical characterization and monitoring large-scale water and vegetation anomalies by remote sensing in the agricultural growing areas of the Brazilian semi-arid region. In: Pandey, P.C. e Sharma, L.K. (eds). Advances in remote sensing for natural resource monitoring. New Jersey: Wiley Online Library, 2021a, p. 94-109.*
- Teixeira, A.H. de C.; Pacheco, E.P.; Silva, C.O.F.; Dampieri, M.G.; Leivas, J.F. SAFER applications for water productivity assessments with aerial camera onboard a remotely piloted*

*aircraft (RPA). A rainfed corn study in Northeast Brazil. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 22, p. 105514, 2021b.*

*Vicente-Serrano, S.M.; Miralles, D.G.; Domínguez-Castrom, F.; Azorin-Molina, C.; Kenawy, A.E.; McVicar, T.R.; Tomás-Burguera, M.; Beguería, S.; Maneta, M., Peña-Gallardo, M. Global assessment of the standardized evapotranspiration deficit index (SEDI) for drought analysis and monitoring. Journal of Climate, v. 31, p. 5371-5393, 2018.*

*ZHANG, L; QIAO, N.; HUANG, C.; WANG, S. Monitoring drought effects on vegetation productivity using satellite solar-induced chlorophyll fluorescence. Remote Sensing, v. 11, p. 1-18, 2019.*

*Zhang, X.; Zhang, B. The responses of natural vegetation dynamics to drought during the growing season across China. Journal of Hydrology, v. 574, p. 706-714, 2019.*