

Response of the EVI Vegetation Index to precipitation anomalies in the State of Paraíba

Bárbara S. Souza*, Wanessa L. B. C. Cantalice**, Célia C. Braga***, Madson T. Silva****, Eduardo A. Silva*****

*Graduanda em Meteorologia – UFCG. Email: barbarasouza3397@gmail.com

**Doutoranda em Meteorologia – PPGMET/UFCG. Email: wanessaluanabc@hotmail.com

***Professora Dra. em Meteorologia – PPGMET/UFCG. Email: celiadca@hotmail.com

****Professor Dr. em Meteorologia – PPGMET/UFCG. Email: madson.geotech@gmail.com

*****Mestrando em Ciências Climáticas – PPgCC/UFRN. E-mail: eduardometeorologistaufrn@gmail.com

Received 20 October 2021; accepted 5 January 2022

Abstract

The climatic conditions of a given region are fundamental in the development of an ecosystem, as it is made up of biotic (living beings) and abiotic (non-living) factors. Changes in the same caused by anthropic action, as well as of natural origin, can directly affect these factors. In the case of vegetation, when it is removed indiscriminately, significant changes in the climate may occur, also aggravating the erosion processes that degrade the soil. In this context, monitoring the vegetation is of fundamental importance in preserving ecosystems and life as a whole. Therefore, we sought to evaluate the spatiotemporal pattern of the annual and monthly response of vegetation to rainfall anomalies in the state of Paraíba in the period 2003-2018. Data from the Enhanced Vegetation Index (EVI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of the monthly product MYD13A3 from the MODIS/Aqua satellite, with a spatial resolution of 1 km, annual and monthly rainfall totals (PRP) obtained from the site were used, of the Executive Agency for Water Management of the State of Paraíba (AESA). Annual linear correlation and response time of vegetation to monthly PRP anomalies were determined using the Principal Component Analysis (PCA) technique. The linear correlation between the annual series of PRP, EVI and NDVI showed a very expressive correlation coefficient of 0.92 for EVI and 0.90 for NDVI at a significance level of $\alpha=0.05$. The joint temporal analysis between EVI and PRP, in regions with vegetation cover predominantly in the Caatinga biome, the EVI values increased after a significant rainfall with a lag of one month. In the other regions, the temporal lag occurs in the period of two months between the precipitation and the response of the vegetation.

Keywords: NDVI/EVI, MODIS, Vegetation Cover, Statistical Analysis.

Resposta do Índice de Vegetação EVI a anomalias de precipitação no Estado da Paraíba

Resumo

As condições climáticas de uma determinada região são fundamentais no desenvolvimento de um ecossistema, pois ele é constituído de fatores bióticos (seres vivos), e abióticos (não vivos). Alterações no mesmo provocado pela ação antrópica, como também de origem natural, podem repercutir diretamente nesses fatores. No caso da vegetação, quando a mesma é retirada indiscriminadamente, mudanças significativas do clima poderão ocorrer, agravando também os processos erosivos que degradam o solo. Nesse contexto, o monitoramento da vegetação é de fundamental importância na preservação dos ecossistemas e da vida como um todo. Portanto, buscou-se avaliar o padrão espaço-temporal da resposta anual e mensal da vegetação às anomalias da precipitação no estado da Paraíba no período de 2003-2018. Utilizaram-se dados do Enhanced Vegetation Index (EVI) e do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) do produto mensal MYD13A3 do satélite MODIS/Aqua, com resolução espacial de 1 km, totais anuais e mensais da precipitação pluviométrica (PRP) obtidos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Determinaram-se a correlação linear anual e o tempo de resposta da vegetação as anomalias mensais de PRP, utilizando a técnica da Análise de Componentes Principais (ACP). A correlação linear entre as séries anuais de PRP, EVI e NDVI, apresentou um coeficiente de correlação bastante expressivo de 0,92 para o EVI e de 0,90 para o NDVI ao nível de significância de $\alpha=0,05$. A análise temporal conjunta entre EVI e PRP, nas regiões com cobertura vegetal predominantemente caatinga, os valores de EVI aumentaram após uma precipitação significativa com defasagem de um mês. Nas demais regiões, a defasagem temporal ocorreu no período de dois meses entre a precipitação e a resposta da vegetação.

Palavras-chave: NDVI/EVI, MODIS, Cobertura Vegetal, Análise Estatística.

1. Introdução

Em princípio os ecossistemas são constituídos de fatores bióticos (seres vivos) e abióticos (não vivos) inter-relacionados. Toda ação

de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes ambientais, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e seus inter-

relacionamentos. Alterações provocadas nos fatores abióticos podem repercutir diretamente nos fatores bióticos, e vice-versa (Parkinson, 1997). Devido à ação do homem, grandes áreas de cobertura vegetal nativa vêm desaparecendo, assim, a necessidade de monitorar a dinâmica da vegetação, em nível local até mundial, é de extrema importância no controle das mudanças climáticas provocadas pelo desmatamento indiscriminado que vem ocorrendo em todo mundo nos últimos tempos (IPCC, 2021).

Séries de dados temporais e espaciais de alta resolução obtidos de sistemas de sensores instalados em satélites meteorológicos e ambientais são de fundamental importância no monitoramento de variáveis meteorológicas e ambientais. A resposta espectral detectada pelos sensores na banda do visível (VIS) e no infravermelho próximo (NIR), em particular LANDSAT/TM (Thematic Mapper) e MODIS/Terra/Aqua informam sobre a refletância da superfície vegetada, o que possibilita identificar e mapear áreas de cobertura vegetada no globo terrestre (Parkinson, 1997, Justice et al., 2002).

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é calculado pela combinação dos canais visível e infravermelho próximo do sistema de sensores dos satélites Landsat/TM, AVHRR/NOAA, MODIS/Terra/Aqua, ASTER, dentre outros. Tal abordagem procura tornar mais operacional o sistema de monitoramento da vegetação usando satélites meteorológicos e ambientais, por se tratar de uma ferramenta de baixo custo operacional e pela facilidade de obtenção das imagens (Souza et al., 2019).

Nos últimos anos inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos por pesquisadores usando séries temporais de índices de vegetação com diferentes finalidades, destacam-se, por exemplo, os trabalhos desenvolvidos por: Costa (2017), que empregou a técnica da ACP aos dados de chuva, EVI e NDVI para determinar o tempo de resposta da vegetação em relação à precipitação no estado da Bahia no período de 2001 a 2015. Correia Filho et al. (2018) utilizaram dados mensais de precipitação e EVI para os anos de 2011-2012 (La Niña) e 2015-2016 (El Niño), para diagnosticar a precipitação e o EVI em dois eventos de seca no Nordeste brasileiro. Já Song et al. (2019) fizeram uso de vários índices de vegetação para investigar os impactos da seca, no crescimento e produtividade de culturas no inverno e primavera de 2009-2010 e verão de 2011 no sudoeste da China. Braga et al. (2018) fizeram uma espacialização do albedo estimado sobre diferentes alvos na região cerrado do Amapá a partir de imagens do sensor MODIS/Terra, utilizando o algoritmo de Liang (2001) e Tassumi et al. (2008). Silva (2019) a partir de dados diários do MODIS/Terra estimou a

Produtividade Primária Bruta (PPB) da Caatinga no semiárido paraibano e comparou os dados estimados e medidos em torre micrometeorológica. Chen et al. (2020) determinaram o tempo de resposta da vegetação às anomalias da precipitação sob diferentes climas e condições biogeográficas na China.

O estado da Paraíba encontra-se na delimitação do polígono das secas por apresentar regime de chuva bastante irregular, o que submete o sistema agrícola da região a sérios problemas. Embora, exista um número expressivo de trabalhos desenvolvidos em regiões semiáridas do Brasil, frequentemente, ela vem sendo agredida por ações antrópicas e mesmo de origem natural, fazendo com que a região do semiárido nordestino continue sendo castigada cada vez mais por secas severas. Estudar e conhecer a variabilidade espaço temporal da precipitação e vegetação é de fundamental importância no planejamento agrícola, hídrico e socioeconômico do Estado. Assim, buscou-se utilizar uma técnica capaz de produzir padrões espaciais e temporais dos índices de vegetação (EVI/NDVI) e precipitação conjuntamente. Para isso, empregou-se a técnica estatística da Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP), que possibilita tratar um conjunto de dados, com maior precisão, deformando o mínimo possível às informações dos dados originais (Wilks, 2006; Braga et al., 2014; Costa, 2017).

Diante das considerações acima, esse estudo teve como objetivo encontrar padrões espaciais interanual e as correlações sazonais entre o EVI e as precipitações. Assim como, identificar o tempo de resposta do EVI após as precipitações no estado da Paraíba no período de 2003-2018.

2. Material e métodos

Área de estudo

Localizado na região Nordeste do Brasil, o estado da Paraíba (Figura 1) ocupa uma área de 56.585 km², distribuídos em 223 municípios (IBGE, 2021). Possui um clima predominantemente tropical do tipo semiárido, marcado pelas altas temperaturas e irregularidade das chuvas. No interior da Paraíba, região do Sertão Paraibano, são registrados os menores volumes pluviométricos do Brasil a qual é considerado uma das regiões mais secas do país (Campos, 2019). A vegetação natural predominante é a caatinga, rica em espécies forrageiras nos seus três estratos, herbáceo, arbustivo e arbóreo, com estudos revelando que acima de 70% das espécies botânicas da caatinga participam significativamente da composição da dieta dos ruminantes (Araújo Filho et al., 2002).

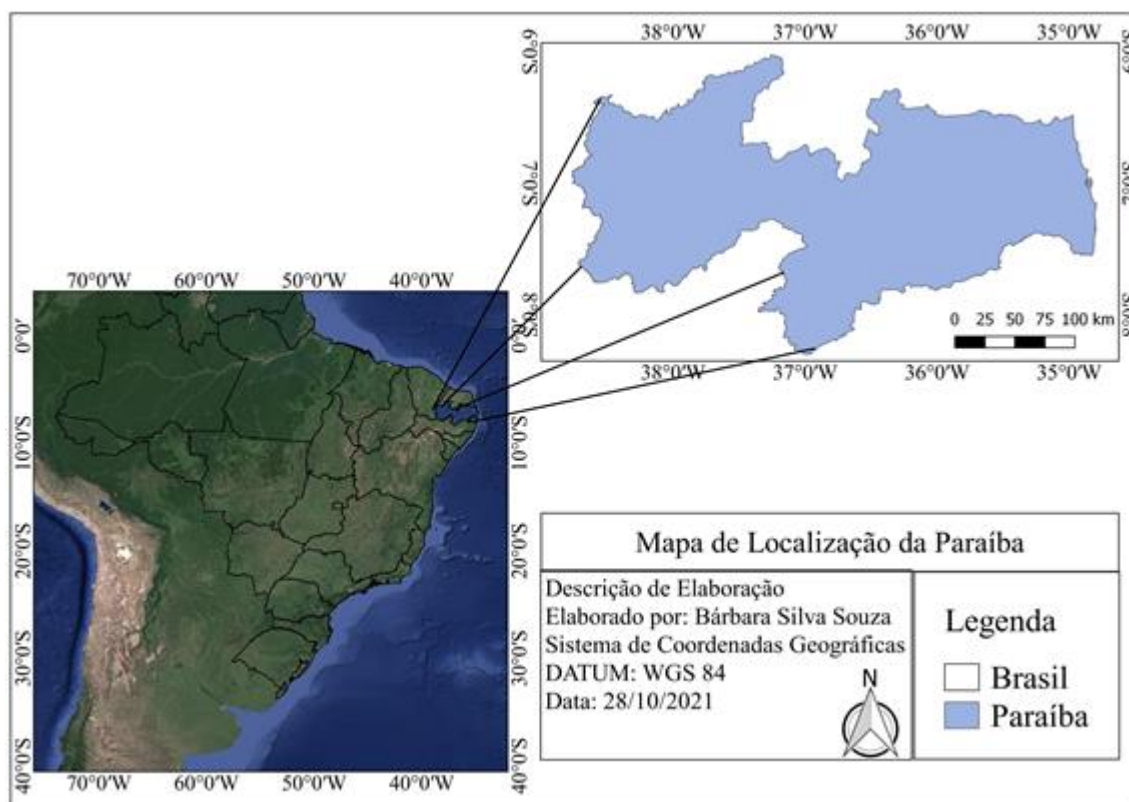


Figura 1 - Localização Geográfica do estado da Paraíba.

Dentre os principais sistemas meteorológicos atuantes na Paraíba destacam-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), além dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) que atuam nas regiões Leste e Brejo do Estado, podendo também atingir o Agreste e Cariri paraibano (Diniz, 2013). Estes sistemas são influenciados por fenômenos de escala maior como as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico e Pacífico, o que contribui para ocorrência de fortes chuvas no Estado. Na região litorânea, Agreste e Brejo o clima varia de tropical úmido e semiúmido, com período de chuvas mais regulares entre março-julho e total médio anual variando entre 800 mm a 2000 mm (Figura 2). Já nas regiões do Cariri/Curimataú, Alto Sertão e Sertão, predomina o clima semiárido, com precipitação de verão-outono, variando de valores inferiores a 400 mm (região mais seca) a 1200 mm no sertão do estado (Figura 2).

Dados de precipitação

Foram utilizados dados de precipitação mensal para o período de 2003-2018, provenientes de 128 estações pluviométricas especializadas em todo estado da Paraíba. O conjunto de dados foi obtido no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

Dados de EVI e NDVI

As Imagens mensais de EVI e NDVI foram extraídas do sensor MODIS/Aqua, especificamente do produto MYD13A3, com resolução espacial de 1km, para o período de janeiro de 2003 a dezembro de 2018, obtidas no endereço eletrônico (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>).

- Índices de Vegetação

Segundo Parkinson (1997) o NDVI tem sido amplamente utilizado por fornecer um forte sinal da vegetação e um bom contraste com outros alvos da superfície. Seu cálculo é determinado pela proporção entre as refletâncias do canal visível e infravermelho próximo o qual é expresso por:

$$NDVI = \frac{(IV - VIS)}{(IV + VIS)} \quad (1)$$

Onde: IV é a medida da reflectância na banda espectral do infravermelho próximo (0,725-1,10µm) e VIS, é a medida do visível (0,58-0,68µm), este reflete a intensidade do estresse hídrico, podendo variar de -1 a 1. Valores negativos ocorrem em regiões onde há presença de água, valores entre 0 e 0,3 em regiões de solo exposto, e maiores que 0,3 até 1 em superfícies vegetadas (Souza, 2019).

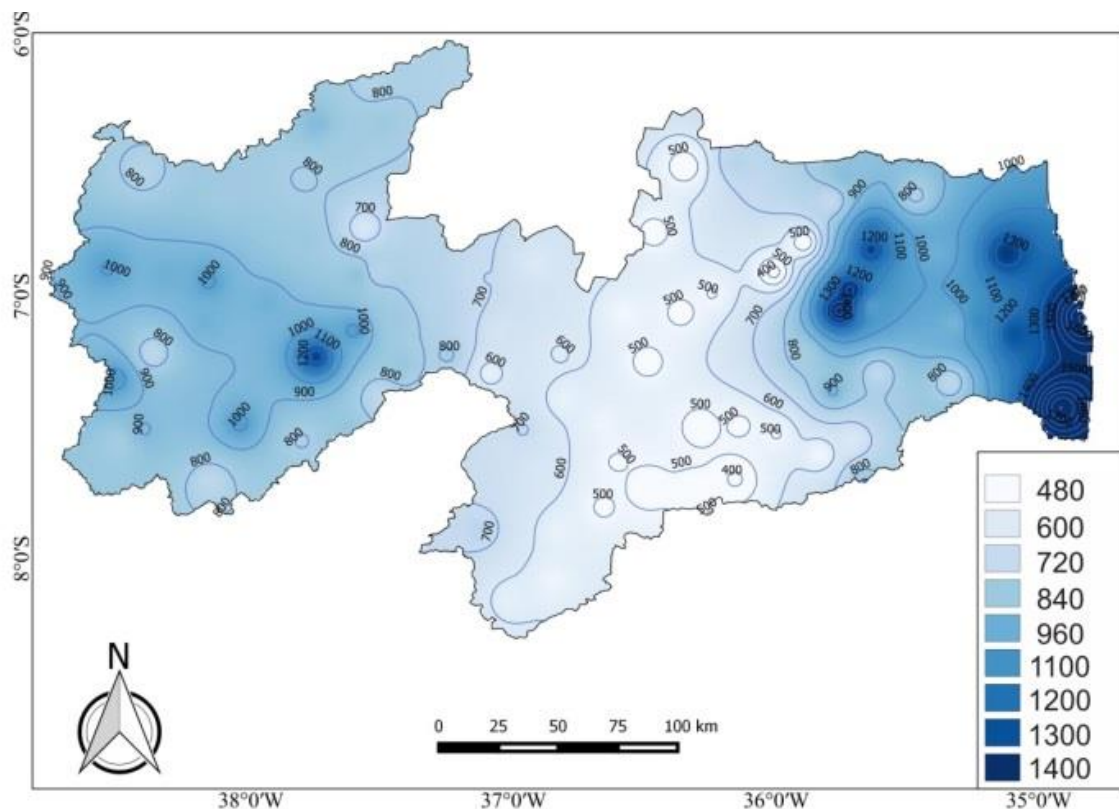


Figura 2 – Variabilidade espacial dos totais médios anuais da precipitação no estado da Paraíba no período de 1962-2011.

O Índice de Vegetação Melhorado EVI é calculado pela equação abaixo:

$$EVI = G \frac{\rho_{ivp} - \rho_{ver}}{L + \rho_{ivp} + C_1 \rho_{ver} - C_2 \rho_{azul}} \quad (3)$$

Sendo: G = fator de ganho (2,5); ρ_{ivp} = reflectância no infravermelho próximo; ρ_{ver} = reflectância no vermelho; ρ_{azul} = reflectância no azul; C_1 = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera para a banda do vermelho (6); C_2 = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera para a banda do azul (7,5); L = fator de correção para a interferência do solo. A introdução do espectro do azul na equação original, somada as constantes desenvolvidas, torna o índice sensível à discriminação de variações estruturais na vegetação de áreas densamente vegetadas (Huete et al. 2002). Esse varia de 0 (vegetação sem folha ou solo exposto) a 1,0 (vegetação com folhas, sem restrições hídricas) (Costa, 2017).

Análise fatorial em componentes principais

A metodologia fundamental deste estudo baseou-se na ferramenta estatística Multivariada Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP). Que consiste em reduzir o número de variáveis de um conjunto de dados, identificando o padrão de correlações ou de covariâncias entre elas, gerando assim um número menor de novas variáveis (Souza,

2016), as quais serão denominadas de componentes principais (CPs).

Para a determinação das componentes principais, é necessário calcular a matriz de variância-covariância (Σ) ou a matriz de correlação (R), encontrar a matriz dos autovetores associada aos autovalores. A partir das combinações lineares entre os autovetores e a matriz normalizada das variáveis originais, encontra-se uma matriz de novas variáveis, denominadas de componentes principais (Costa, 2017).

3. Resultados e Discussão

A seguir são mostrados e descritos os resultados obtidos a partir da análise de correlação linear entre os dados de precipitação, EVI e NDVI, assim como a aplicação da ACP conjunta entre precipitação e EVI, para o período de 2003 a 2018 no estado da Paraíba. As Figuras 3a, 3b, 3c e 3d, ilustram o diagrama de dispersão, tendência e curva de regressão entre as variáveis. A relação funcional entre PRP e EVI (Figura 3a) explica 84% da variância total dos dados anuais, com correlação $r = 0.92$ para o nível de significância $\alpha=0,05$. Já a relação funcional entre PRP e NDVI (Figura 3c) explica 82% da variância total dos dados anuais e correlação $r = 90,5\%$, ambos para o nível de significância de 0,05. Esses resultados demonstram que ambos os índices de vegetação anual apresentam uma correlação expressiva no período

estudado. Os resultados encontrados corroboram em parte com os trabalhos realizados por Costa et al.

(2017) e Souza et al. (2019) para a região nordeste do Brasil.

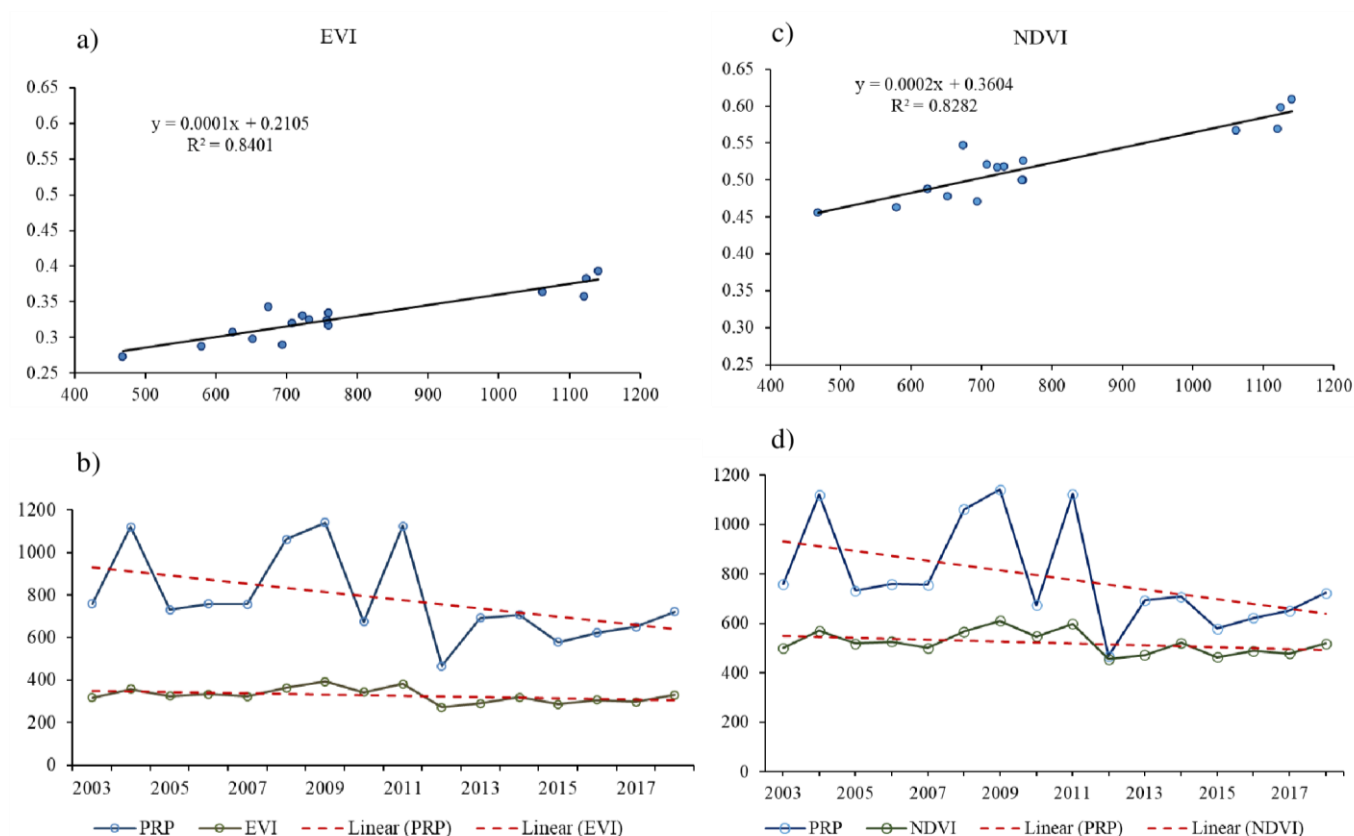


Figura 3 - (a) Diagrama de dispersão e curva de regressão entre PRP e EVI, (b) Tendência linear do PRP e EVI (c) Diagrama de dispersão e curva de regressão entre PRP e NDVI (d) Tendência PRP e NDVI, no período de 2003-2018 no estado da Paraíba.

As Figuras (4a, 4b, 4c e 4d) ilustram a variabilidade espacial do EVI e NDVI para o ano chuvoso de 2009 e seco de 2012. Observa-se que ambos os índices apresentam comportamento semelhantes tanto no ano seco como no chuvoso. Os valores mais elevados são encontrados no setor leste (litoral, agreste e brejo) e oeste (sertão) e os menores na diagonal da região central do Estado (Brito e Braga, 2005).

Na segunda etapa do estudo é analisado e discutido a resposta do índice de vegetação EVI às variabilidades mensais da precipitação no estado da Paraíba. Embora ambos os índices tenham se mostrado bem correlacionados com a precipitação, o EVI foi escolhido, por apresentar maiores correlações com a precipitação no período de estudo.

A aplicação conjunta da ACP aos dados de precipitação e EVI resultou na seleção das três primeiras componentes principais que explicaram aproximadamente 87,00% da variância total dos dados da precipitação e EVI. A seleção dos fatores baseou-se no critério de truncamento de Kaiser (KMO), que retém os autovalores maiores que a unidade, considerando um nível de confiabilidade de 95% e KMO = 0,89.

Na Tabela 1 são apresentados os autovalores e as variâncias explicadas e acumuladas para as três primeiras CPs não rotacionadas e rotacionadas dos dados. Optou-se pelo modo rotacionado dos fatores, por apresentar melhor coerência espaço-temporal entre precipitação e EVI no estado da Paraíba entre 2003-2018.

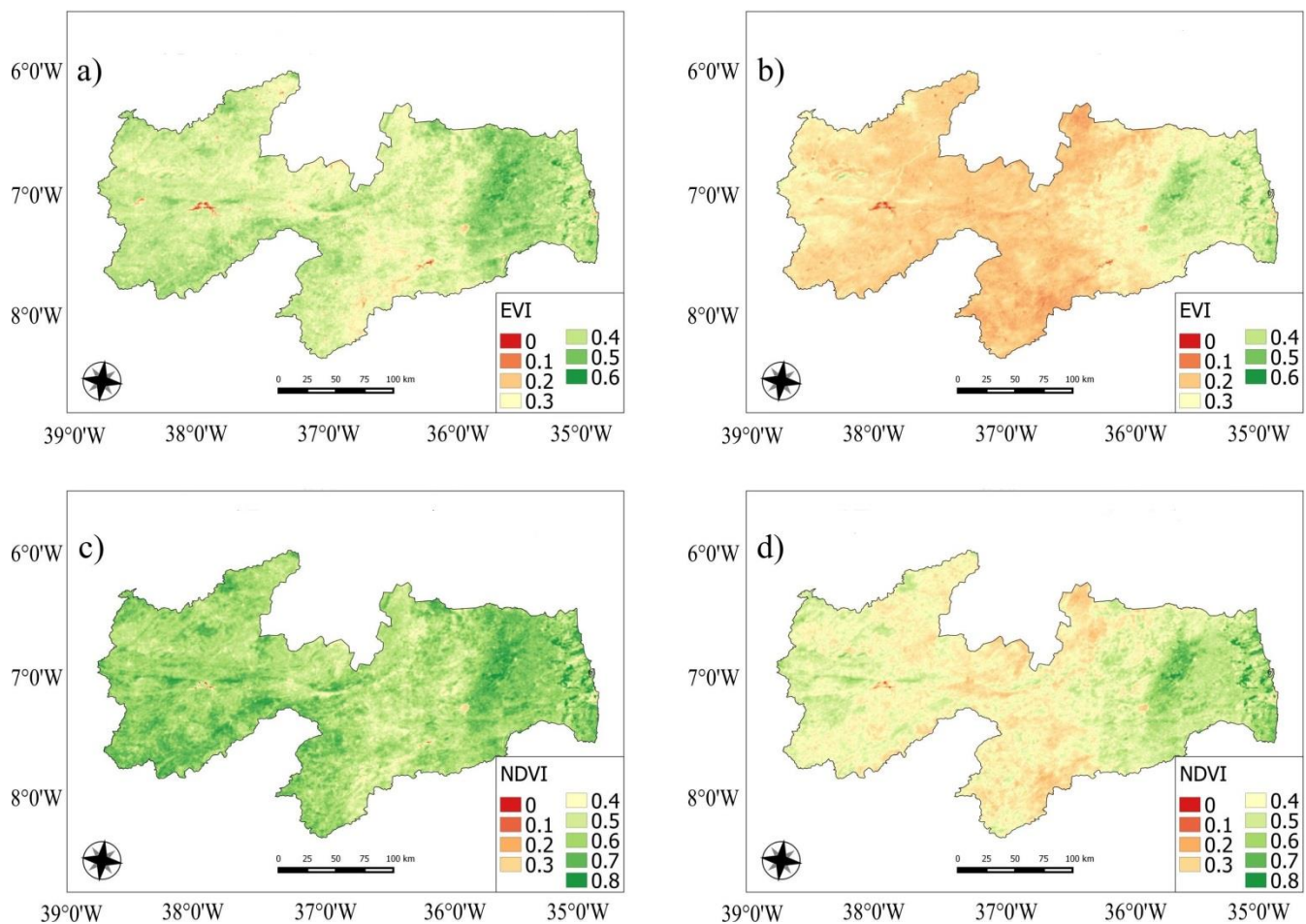


Figura 4 - Variabilidade espacial para o ano chuvoso de 2009 e seco de 2012 do EVI (a,b) e NDVI (c,d) para o estado da Paraíba.

Tabela 1 - Autovalores e a contribuição (%) da variância mensal dos fatores não rotacionados e rotacionados do EVI e precipitação no estado da Paraíba.

Fatores Não Rotacionados					Fatores Rotacionados		
	CP	Autovalor	Variância Explicada	Variância Acumulada	Autovalor	Variância Explicada	Variância Acumulada
PRP X EVI	1	10,5	43,8	43,8	9,40	39,15	39,15
	2	7,3	30,3	74,1	5,91	24,61	63,76
	3	3,1	12,9	87,0	5,57	23,21	86,97
	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...
	24	24	100	100	24	24	100

As correlações temporais mensais associadas aos três primeiros fatores são mostradas na Figura 5. O primeiro fator comum que explica 39,15% da variância entre precipitação e EVI, está fortemente correlacionado com a precipitação ($r > 0,9$) nos meses de maio a setembro, e com o EVI ($r > 0,7$), de junho a novembro. Este fator evidencia que a maior correlação da precipitação com o EVI inicia-se com defasagem de dois meses. O padrão espacial associado a este fator (Figura 6a) apresenta contribuições positivas superiores a 1 na faixa

litorânea, agreste e brejo, à medida que se distancia dessas regiões as contribuições decrescem atingindo valores negativos inferiores a -1 no sertão e alto sertão da Paraíba. Este padrão está associado às chuvas provenientes de sistemas de leste (brisas, ondas de leste, ventos alísios) dentre outros, que atuam principalmente nos meses de junho a agosto na região (Brito e Braga, 2005; Braga et al. 2014).

O segundo fator que explica 24,61% da variância total da série de dados tem baixas correlações com a precipitação praticamente durante

todo o ano, com exceção dos meses de janeiro e fevereiro ($r = > 0,4$). Já com o EVI está fortemente correlacionado entre os meses de janeiro a maio ($r > 0,8$). Este fator mostra que a maior correlação da precipitação com o EVI ocorre com defasagem de um mês, vale ressaltar que nessa região predomina a vegetação do tipo caatinga que responde rapidamente as precipitações. A configuração espacial associada a este fator (Figura 6b) mostra contribuições positivas no sertão e alto sertão além de pequenos núcleos de maior intensidade na região do brejo paraibano. As chuvas nesse período podem estar associadas à atuação de sistemas meteorológicos como os VCANs e principalmente a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que devido a sua posição mais ao sul do Equador, entre os meses de dezembro a maio causando chuvas no norte e Nordeste brasileiro (Molion e Bernardo, 2002). Segundo Nimer (1979) no estado da Paraíba a ZCIT atua principalmente no oeste e tem grande influência na pluviometria no interior da região.

Por fim, o terceiro fator que explica 23,21%

da variância total da série de dados está bem correlacionado com a precipitação de janeiro a abril e no trimestre de outubro a dezembro ($r > 0,8$). Entretanto, observa-se que este fator apresenta baixas correlações ($r < 0,4$) com o EVI durante todos os meses. A distribuição espacial deste fator (Figura 6c) apresenta as maiores contribuições no sertão, alto sertão e litoral do Estado.

Os resultados deste estudo corroboram com os encontrados por Braga et al. (2003), que utilizou séries de dados de NDVI e precipitação em 8 regiões homogêneas do NEB. Identificou-se que o tempo de resposta da vegetação à precipitação apresenta defasagem de um mês nas regiões semiáridas e dois meses no oeste e litoral. E também com os encontrados por Costa (2017) que analisou o tempo de resposta dos índices EVI e NDVI a regiões homogêneas no estado da Bahia no período de 2001-2015. Observou-se que o tempo de resposta do EVI e NVDI em relação às máximas precipitações são variantes, para o EVI a defasagem foi de 1 a 2 meses a depender do tipo de vegetação.

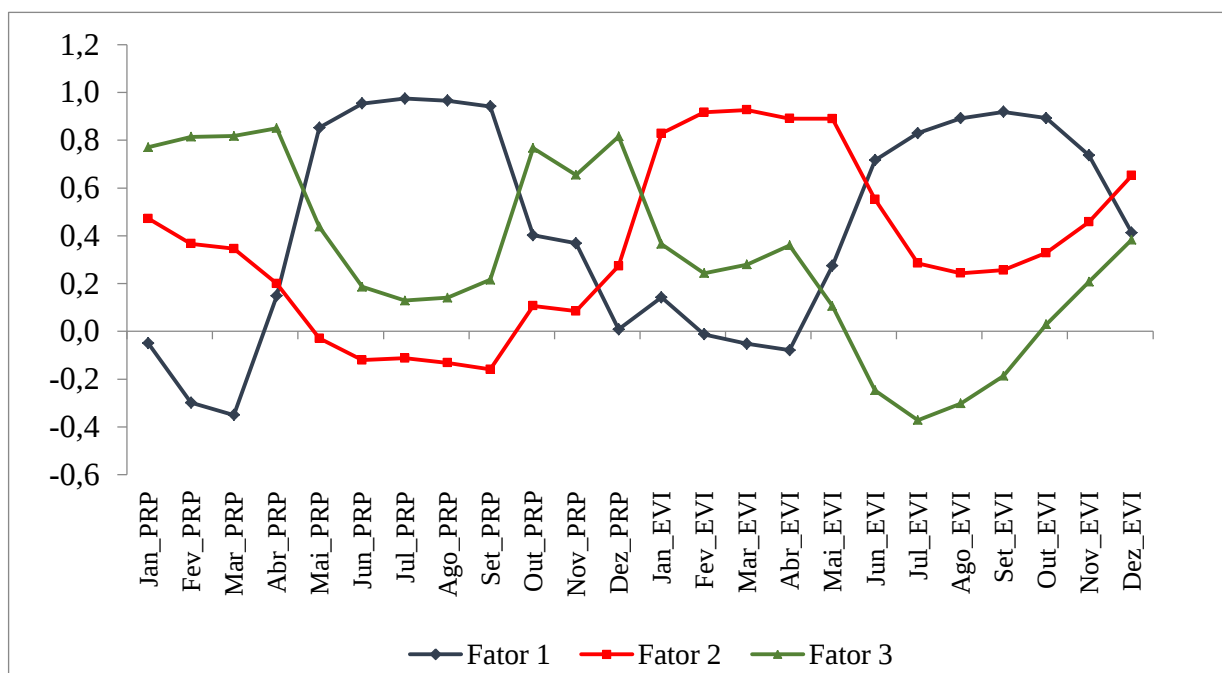


Figura 5 - Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os três primeiros fatores comuns, que explicam 87,00% da variância conjunta entre EVI e precipitação no estado da Paraíba no período de (2003-2018).

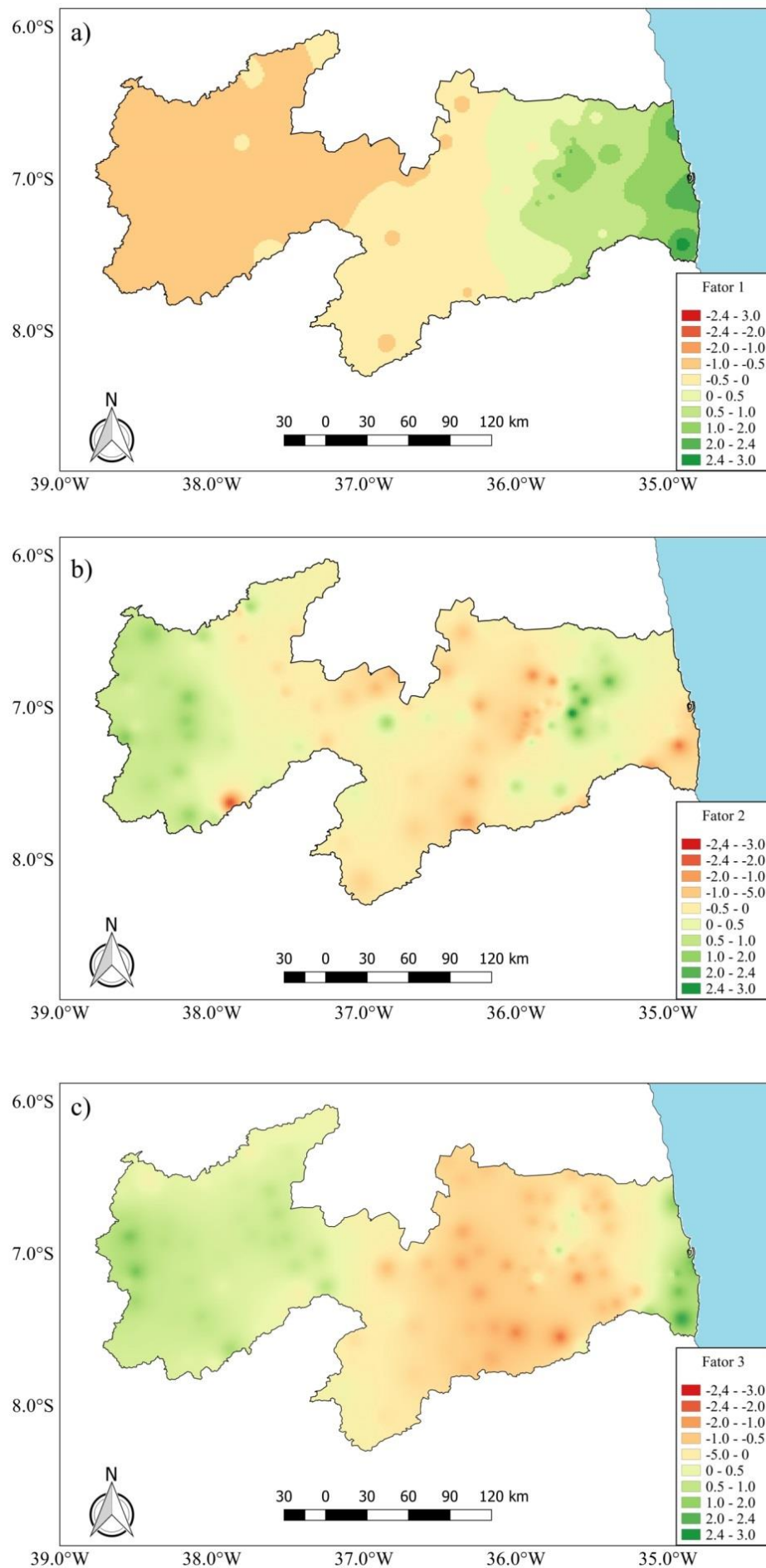


Figura 6 - (a, b, c). Padrões espaciais (contribuições) para os três primeiros fatores comuns rotacionados que explicaram 87,0 % da variância total da precipitação e EVI no estado da Paraíba (2003–2018).

4. Conclusão

Com base nos resultados obtidos, observa-se que o EVI se mostrou melhor correlacionado com a precipitação do que o NDVI no período estudado, confirmando o que está descrito na literatura.

Considerando a distribuição espacial do EVI, NDVI e o regime de chuva do estado da Paraíba, observou-se que no ano chuvoso de 2009 variabilidade está acima da média climatológica. Já para o ano seco de 2012 teve uma redução bastante expressiva dos índices de vegetação.

O padrão espacial do primeiro fator comum que explicou 39,15% da variância dos dados, mostram que as maiores contribuições, da precipitação e EVI são nas regiões do litoral, agreste e brejo, evidenciado o período chuvoso de maio a setembro.

O segundo e terceiro fator que explicaram 24% e 23 % respectivamente, da variância total dos dados, retratam que as maiores contribuições, ocorrem no sertão e alto sertão, cujo o período chuvoso se concentra em média de janeiro a abril. Com já esperado a flutuabilidade fenológica vegetal, depende principalmente do regime de chuvas, os quais estão associados aos fenômenos meteorológicos que atuam na região Nordeste do Brasil.

A partir da análise conjunta entre as séries temporais da precipitação e EVI, identificou que o tempo de resposta da vegetação após as chuvas mais expressivas, ocorrem com defasagem de 1 a dois meses a depender das características do tipo de cobertura vegetal.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica-PIBIC que viabilizou a execução do projeto de monitoramento da vegetação e chuva no estado da Paraíba. O segundo e sexto autores agradecem a CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Referências

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2021. Disponível: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso: jun. 2021.

Araújo Filho, J.A.D., Carvalho, F.C.D., Garcia, R., Sousa, R.A.D., 2002. Efeitos da manipulação da vegetação lenhosa sobre a produção e compartimentalização da fitomassa pastável de uma caatinga sucessional. *Revista Brasileira de Zootecnia* 31, 11-19.

Braga, C.C., Amanajás, J.C., Alcântara, C.R., Dantas, M.P., 2018. Avaliação do albedo nos diferentes

tipos de cobertura do cerrado do Amapá-Brasil com imagens MODIS. *Territorium* 25, 129-134.

Braga, C.C., Brito, J.I.B., Sansigolo, C.A., Rao, T.V.R., 2003. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 11, 149-157.

Brito, J.I.B., Braga, C.C., 2005. Chuvas no estado da Paraíba em 2004. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia* 29, 27-32.

Campos, M., 2019. Mundo Educação: Paraíba. Disponível: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/paraiba.htm>. Acesso: 1 out. 2021.

Chen, Z., Wang, W., Fu, J., 2020. Vegetation response to precipitation anomalies under different climatic and biogeographical conditions in China. *Scientific reports* 10, 1-16.

Correia Filho, W.L.F., Santos, T.V.dos, Diogo, A.M., Amorim, R.F.C.de, 2018. Diagnóstico da Precipitação e EVI em Dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia* 35, 102-112.

Costa, W.L.B., Braga, C.C., Alcantara, C.R., Costa, A.S., 2017. Phenological Dynamics of vegetation using the Enhanced Vegetation Index (EVI) in regions of Bahia State. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 7, 399-407.

Diniz, J.M.T., 2013. Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba. *Holos* 3, 171-180.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83, 195-213.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>. Acesso: 1 out. 2021.

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.

Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Vermote, E.F., Masuoka, E., Wolfe, R.E., Saleous, N., Roy, D.P., Morisette, J.T., 2002. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment* 83, 3-15.

- Liang, S., 2001. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. *Remote Sensing of Environment* 76, 213- 238.
- Molion, L.C.B., Bernardo, S.O., 2002. Uma Revisão da Dinâmica Das Chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2021. Disponível: <https://search.earthdata.nasa.gov/>. Acesso: 19 set. 2021.
- Nimer, E., 1979. Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba. IBGE, Rio de Janeiro.
- Parkinson, C.L. "Earth from above". University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation 107-111.
- Santos, S.R.Q., Braga, C.C., Campos, T.B., Brito, J.I.B., Santos, A.P.P., 2014. Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará por meio de Análise em Componentes Principais. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 615-627.
- Silva, K.K.da, Braga, C.C., 2019. Avaliação da Produtividade Primária Bruta da Caatinga do Semiárido Paraibano. Dissertação (Mestrado). Campina Grande. UFCG.
- Song, L., Li, Y., Ren, Y., Wu, X., Guo, B., Tang, X., Zhao, L., 2019. Divergent vegetation responses to extreme spring and summer droughts in Southwestern China. *Agricultural and Forest Meteorology* 279, 107703.
- Souza, B.S., Soares, C.S., Monteiro, N.S., Costa, W.L.B., Braga, C.C., 2019. Monitoramento espacial do IVDN em três estados do Nordeste Brasileiro usando o sensor MODIS/AQUA. *Simpósio Internacional de Climatologia*, Belém.
- 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* 13, 51-63.
- Wilks, D.S., 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. Ed. Academic Press, London.