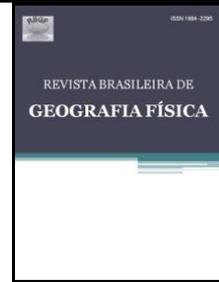




ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Correlação linear entre a precipitação e o Índice de Área Foliar do bioma Caatinga

Josiclêda Domiciano Galvêncio<sup>1</sup>, Sandra Maria Mendes<sup>2</sup>, Weronica Meira Souza<sup>3</sup>, Ygor Cristiano Brito Moraes<sup>2</sup>, Rodrigo de Queiroga Miranda<sup>2</sup>, Magna Soelma Beserra de Moura<sup>4</sup>, Wanderson Santos<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Professora da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Professora do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA. E-mail: [josicleda@gmail.com](mailto:josicleda@gmail.com) (autor Correspondente); <sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA; <sup>3</sup>Professora da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco-UFAPE; <sup>4</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Professora do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA; <sup>5</sup>Meteorologista, Instituto Tecnológico de Pernambuco-ITEP.

Artigo recebido em 11/02/2020 e aceito em 03/12/2020

### RESUMO

Sabe-se que a precipitação é uma variável de difícil estimativa em especial nas regiões semiáridas. Diversos estudos e avanços já foram obtidos na estimativa de precipitação, mas ainda se necessita desenvolver modelos que possam proporcionar estimativas mais reais. Com o intuito de contribuir nessa linha de pesquisa, este estudo teve como objetivo avaliar a relação existente entre a precipitação e o índice de área foliar no bioma caatinga. Utilizou-se o método de correlação linear simples entre a precipitação e o índice de área foliar. Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram obtidos pelo modelo ETA e os do índice de área foliar foram obtidos pelo sensor MODIS. As relações estatísticas mostraram uma boa correlação entre o índice de área foliar e a precipitação. Assim, conclui-se que o entendimento da dinâmica do índice de área foliar espacial e temporal pode ajudar no entendimento da dinâmica espacial e temporal da precipitação na caatinga. A estimativa da precipitação pelo modelo ETA pode ser melhorada com o uso do índice de área foliar.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, LAI, modelo ETA, precipitação, caatinga.

## Linear correlation between rainfall and Leaf Area Index of the Caatinga biome

### ABSTRACT

It is known that rainfall is a variable that is difficult to estimate, especially in semiarid regions. Even with the various studies and advances already obtained, it is still necessary to develop models that can provide more real estimates. In order to contribute to this line of research, this study aimed to assess the relationship between rainfall and the leaf area index in the caatinga biome. Therefore, a good spatial distribution of precipitation is necessary since with the use of remote sensing it is possible to obtain a good estimate of the spatial leaf area index. The precipitation data used in this study were obtained using the ETA model. The leaf area index data were obtained by the MODIS sensor. The simple linear correction method was used. The statistical relationships showed a good correlation between the leaf area index and precipitation. Thus, it is concluded that understanding the dynamics of the spatial and temporal leaf area index can help in understanding the spatial and temporal dynamics of precipitation in the caatinga. It is believed that the precipitation estimate by the ETA model can be improved with the use of the leaf area index.

Keywords: remote sensing, LAI, ETA model, rainfall, caatinga.

## Introdução

Sabe-se que a precipitação possui uma relação com a fisionomia da vegetação de caatinga, uma vez que essa área sofre com escassez hídrica durante 70% dos meses do ano. Sabe-se também que a precipitação é bastante heterogênea nessas áreas, tanto espacialmente quanto temporalmente. Diversos pesquisadores têm unido esforços no sentido de contribuir com estudos no entendimento da caatinga tanto na avaliação temporal como espacial, Miranda et al., (2020); Galvêncio (2020); Galvêncio e Naue (2020); França et al., (2020); Pinheiro et al., (2020); Lacerda et al., (2020); Silva et al., (2018).

Mesmo assim, os estudos precisam ser aperfeiçoados uma vez que monitorar a distribuição espacial e temporal da precipitação e suas consequências demanda custos econômicos e humano. Existe deficiência de dados observados de precipitação que possa proporcionar uma boa análise espacial e temporal no semiárido do Nordeste do Brasil. Estudo tem sido desenvolvido na tentativa de melhorar as estimativas de precipitação, como também suprir em parte a falta de dados observados, Silva et al., (2017). Assim, encontrar relação entre a precipitação e outros fatores biofísicos que representem bem a fisionomia do ecossistema caatinga se torna de grande importância uma vez que pode diminuir custos econômicos e humanos. Recentes trabalhos contribuíram para o desenvolvimento de modelos que possam estimar variáveis ambientais com sensoriamento remoto, tais como: Índice de Área Foliar (em inglês, LAI - Leaf Area Index), Miranda et al., (2020); Samara et al., (2019); Miranda et al., (2018); Miranda et al., (2017).

Os avanços tecnológicos na área de sensoriamento remoto têm proporcionado a possibilidade de se estudar parâmetros da vegetação em escala de detalhe espacial e de boa representação temporal. Muitos índices de vegetação que tem uma boa relação com a precipitação têm sido usados na literatura para avaliar as condições e impactos da precipitação na vegetação, Silva et al., (2017); Brito et al., (2017A); Brito et al., (2017), Galvêncio (2017) entre eles pode-se citar o NDVI sendo um dos mais usados, Galvêncio e Naue (2020); Galvêncio et al., (2012); Silva e Galvêncio (2012). Apesar de ser bastante usado o NDVI em alguns casos não

representa muito bem as condições da vegetação de caatinga em especial no período chuvoso por apresentar a saturação dos seus dados.

Mais recentemente alguns estudos tem apresentado o LAI como uma boa alternativa para avaliação da cobertura vegetal da caatinga uma vez que ele tem mostrado uma ótima correlação com dados obtidos em campo, Galvêncio et al., (2013), Almeida et al., (2019), Machado (2014), Miranda et al., (2020), etc. Miranda et al., (2020) encontraram uma correlação em torno de 0,8 entre os dados do LAI obtidos com o sensor MODIS e dados observados em campo.

O uso de dados de LAI em escala de detalhe para melhorar estimativas de modelos climatológicos ainda são poucos utilizados no mundo. Porém algumas instituições de pesquisa têm se mostrado interessados em utilizar dados do LAI em escala de detalhe para entender os ecossistemas, em especial a caatinga, e melhorar as estimativas e/ou prognósticos da precipitação. Esse interesse tem se dado devido os resultados obtidos com o LAI.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é avaliar a relação existente entre a precipitação e o LAI no bioma caatinga, utilizando estimativas de precipitação do ETA.

## Material e métodos

### Caracterização da área de estudo

O município de Petrolina (Figura 01) está localizado na mesorregião São Francisco e na Microrregião Petrolina do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Dormentes, a sul com Estado da Bahia, a leste com Lagoa Grande, e a oeste com Estado da Bahia e o Município de Afrânio. A área municipal ocupa 4737,1 km<sup>2</sup> e representa 4.81 % do Estado de Pernambuco. (Mascarenhas, 2005). Segundo o último censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população do município é de 293. 962 com estimativa para 2013 de 319.893. Destaca-se por sua grande produção agrícola e com avançadas técnicas de agricultura irrigada, que proporciona grandes produções de frutas em região semiárida.

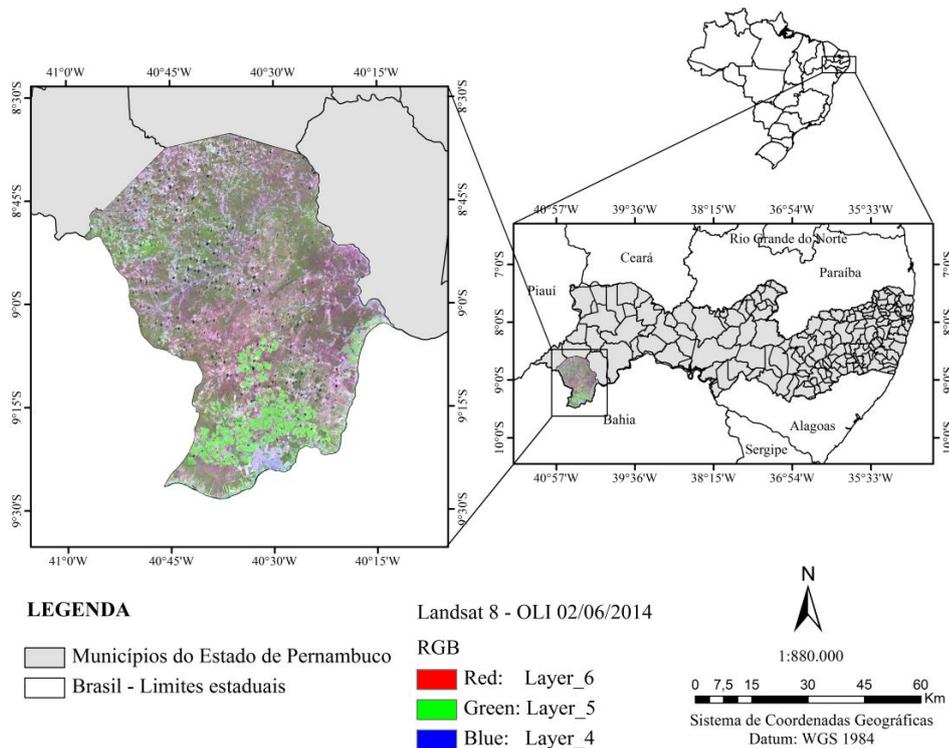


Figura 01: Localização da área de estudo.

## Clima

O Clima característico do município é o semiárido, o qual ocorre essencialmente na Região Nordeste, na área de depressão sertaneja, onde a vegetação predominante é a caatinga. Formando a região conhecida como polígono das secas, que avança sobre o norte de Minas Gerais. As temperaturas são elevadas e geralmente superiores a 25°C. A pluviosidade é baixa, em torno de 500 mm anuais, e irregular, apresentando como principal período chuvoso os meses de janeiro a abril. março e agosto são os meses com a maior e a menor precipitação, com totais médios de 136 mm e 05 mm, respectivamente (SONDA, 2014). As chuvas que ocorrem no Sertão têm sua origem nas frentes frias, nos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sendo esse último sistema, o principal sistema de produção de chuvas no semiárido de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2006). As chuvas são irregulares, concentrada, são predominantemente convectivas, ocorrem sob a forma de fortes aguaceiros de pequena duração, proporcionando rápido escoamento superficial e, conseqüentemente, baixo taxa de infiltração no solo, agravando, assim, as condições de carência de umidade para as plantas (Lins e Albuquerque, 2001)

Nos meses mais úmidos, a umidade relativa do ar varia, em média, entre 66% e 72%. Menores valores acontecem nos meses mais quentes, de setembro a novembro, quando a umidade atinge valores abaixo de 55%. A umidade relativa atinge os maiores valores em abril, que corresponde ao fim do período chuvoso. A temperatura do ar apresenta variações médias entre 24°C e 28°C, sendo julho o mês mais frio e novembro o mês mais quente do ano (SONDA, 2014).

## Material

Para a realização deste trabalho foram utilizados os dados do modelo regional ETA e do Sonda para o período de 2011 a 2013 para a área de estudo. Os dados do Sonda serviram para comparar os dados observados de precipitação com o LAI. Os dados do ETA foram cedidos pelo ITEP-Instituto Tecnológico de Pernambuco. A instituição era responsável pela rodada do modelo para o Estado de Pernambuco. Foram empregadas, no atual estudo, médias mensais projetadas pelo ETA regional. Os valores simulados pelo ETA apresentam resolução espacial de 20 km, forçada pelos prognósticos fornecidos pela resolução horizontal de 40 km. O intuito foi comparar o LAI com a precipitação observada no Sonda e estimada pelo ETA.

Para leitura dos dados binários modelados foi utilizado o software GRaDs e para exportação desses dados para a versão txt, facilitando assim a manipulação dos dados em planilhas no Excel. O GrADS é uma ferramenta computacional interativa para a análise e exibição de dados de ciência da Terra. O GrADS é usado no globo todo e livremente disponível na internet.

Os dados do MODIS foram obtidos no site EarthExplorer MOD15A2hV006 MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500 m. Para cada ano foram baixadas 45 imagens, totalizando 135 imagens para os três anos em estudo. Para cada mês foi realizada a média das quatro imagens de oito dias. Ou seja, foram utilizadas as médias mensais do LAI de oito dias. No total foram 36 dados de LAI médios mensais correlacionados com 36 dados de precipitação dos meses dos três anos. Foi obtido um valor médio espacial para o município de Petrolina tanto do LAI quanto da precipitação estimada pelo ETA.

### Procedimentos metodológicos

Neste estudo foi utilizado o método de correlação linear. Essa relação foi com o acumulado mensal de precipitação interpolado para a grade do modelo meteorológico numérico regional ETA, operado pelo CPTEC/INPE. Esses dados foram rodados no CPTEC/INPE, baseados na análise do modelo Global HadCM3Cntrl, extraídos a série temporal de 2011 a 2013 da base de dados para a América Latina (Figura 02). A partir desses dados, foi gerado um recorte espacial para o nordeste e conseqüentemente para o campo de estudo, o município de Petrolina.

A fórmula da análise de correlação/regressão simples utilizada foi a partir da equação 1:

$$y = ax + b \quad (1)$$

Em que, a variação do eixo y pode ser explicado pela variação do eixo x. Dessa forma: a= estimador do coeficiente linear; b= estimador do coeficiente angular.

### Resultados e discussão

A Figura 03 mostra a correlação da precipitação média mensal acumuladas observadas, para o período de 2011 a 2013, com os dados do LAI mensal estimados pelo sensor MODIS. Observa-se que o coeficiente de determinação  $R^2 = 0,3021$  ou  $r=0,55$ . Ou seja, existe uma relação física entre o LAI e a precipitação. Mesmo que o valor estatístico do coeficiente de correlação seja de 0,55 é possível afirmar uma forte relação física entre a precipitação e o LAI, uma vez que a sazonalidade do LAI não depende unicamente da precipitação. O índice de significância foi de 0,05 legitimando a correlação significativa dos valores. A sazonalidade do clima interfere no LAI do bioma Caatinga, em se tratando dos três anos analisados, um seco seguido por dois chuvosos, essa relação representa situação de eventos extremos. O LAI é uma importante medida da cobertura vegetal, pois, controla as trocas de massa e energia de uma superfície vegetada (Danelichen et al., 2014).

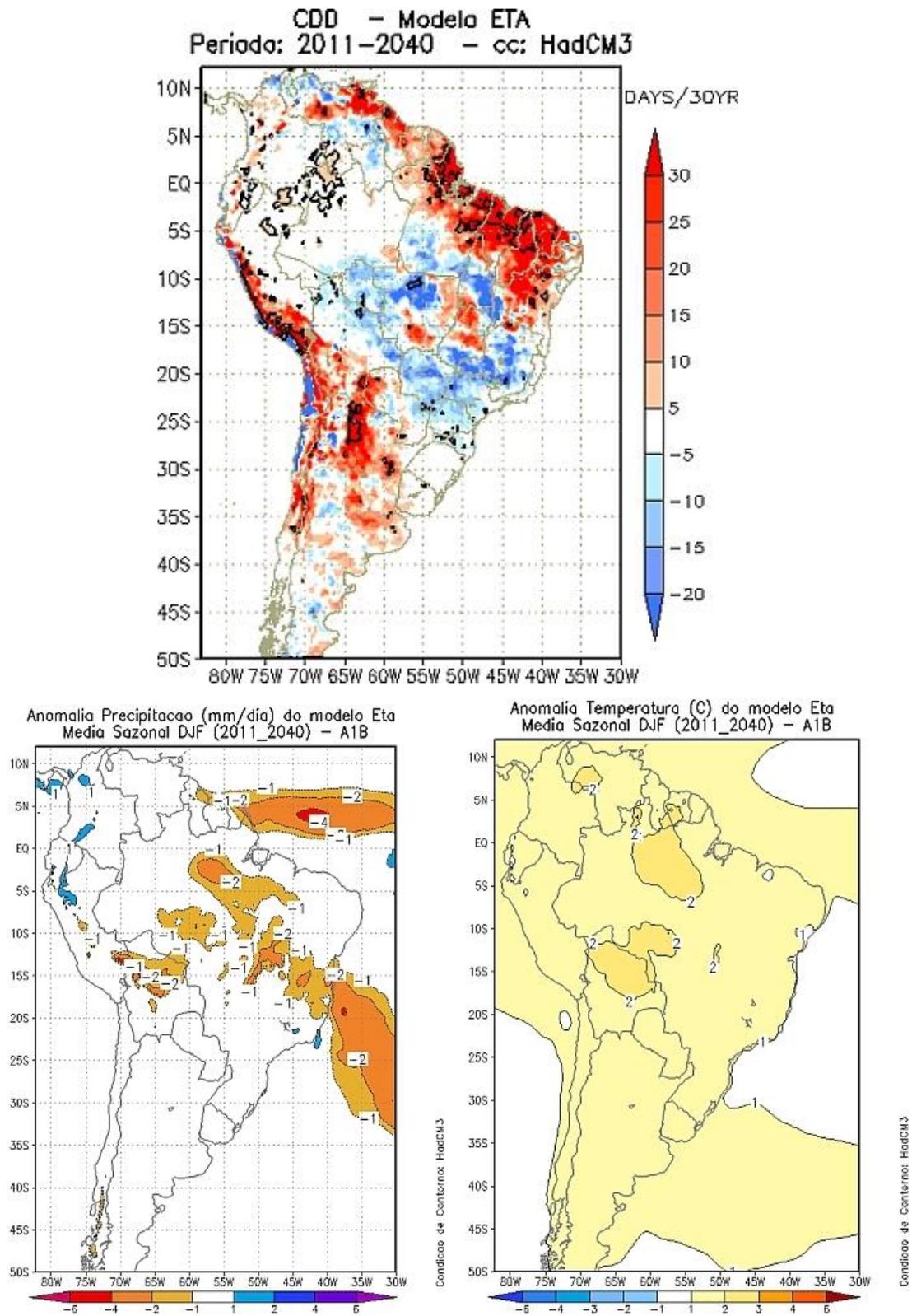


Figura 02: Campos ilustrativos de tendência do modelo ETA-HADCM, no período de 2011-2040. Fonte: <http://pnud.cptec.inpe.br/>

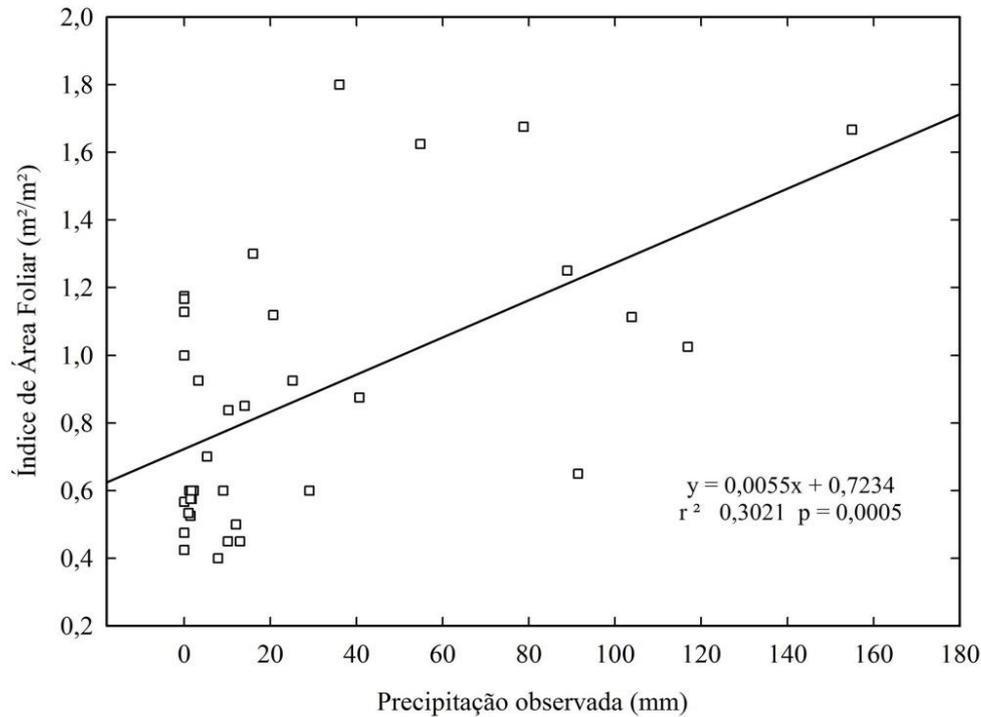


Figura 03: Correlação do LAI com a precipitação observada.

A Figura 04 mostra a frequência das médias do LAI com a precipitação observada, as variáveis seguem uma tendência similar. Porém, percebe-se que o LAI médio não ultrapassou 1,8 mesmo com altas precipitações e que não foi menor do que 0,5 mesmo com baixas precipitações. Além disso, é possível perceber que acima de 60mm de precipitação o LAI alcançou o seu ápice de cobertura vegetal 1,8. É importante ressaltar que o LAI aqui utilizado foi estimado pelo sensor MODIS. Galvinctio et al., (2013) observou uma variação de LAI nessa área entre 0,25 a 2,3. Miranda et al. (2020) desenvolveu métodos para melhorar as estimativas do LAI da caatinga usando como base dados de sensoriamento remoto. Esses modelos podem ser utilizados para melhorar as estimativas do LAI do MODIS e assim no uso do LAI avaliar indiretamente a variação espacial da precipitação.

Para o ano de 2011, os meses que apresentaram os maiores índice de chuvas não apresentaram diretamente os seus maiores valores do LAI. É possível perceber uma defasagem entre a precipitação e a resposta do LAI.

Dos anos estudados no ano de 2012, ocorreram os menores índices de precipitação como também os menores índices de LAI.

No ano de 2013 apesar de considerado um ano seco, teve índices melhores que em 2012 devido janeiro apresentar 103,87 mm e dezembro com 116,91 mm. Essas chuvas influenciaram o LAI deste ano. O entendimento da dinâmica do LAI espacial e temporal pode ajudar no entendimento da dinâmica espacial e temporal da precipitação na caatinga.

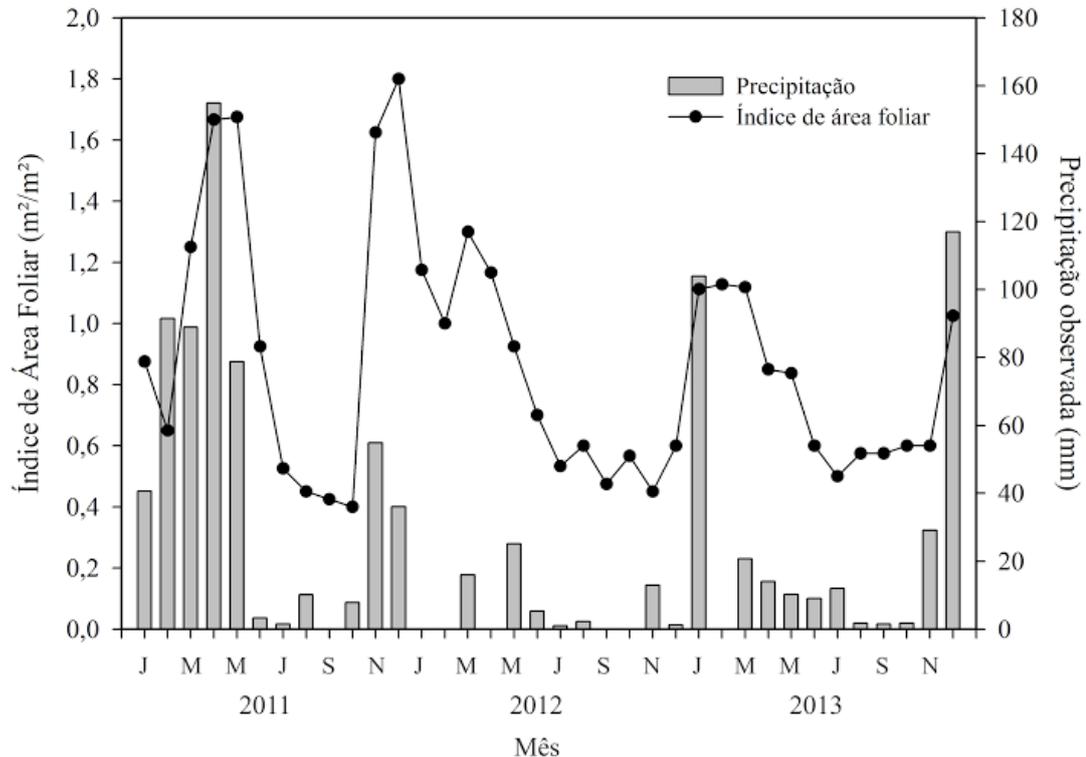


Figura 04: Frequência das médias do LAI com a precipitação observada para os anos de 2011 a 2013.

Figura 05 mostra a correlação da precipitação média mensal acumulada, para os três anos, modeladas pelo ETA climático com os dados do LAI estimados pelo sensor MODIS.

Observa-se que o coeficiente de determinação  $R^2 = 0,1187$  da variação do LAI MODIS que pode ser explicado pela variação da precipitação modelada pelo ETA para o período. O índice de significância ficou abaixo de 0,05 legitimando a correlação significativa dos valores, mesmo que a correlação tenha ficado em torno dos 11%. Entretanto, ocorreu boa correlação entre os dados, pois, onde a precipitação modelada revela-se mais baixa, o valor do LAI tende a ser menor, representando o padrão entre a chuva e o LAI. Porém, quando a precipitação é baixa o modelo subestima o LAI, Figura 5. Quando a precipitação é mais alta o modelo tende para uma correlação maior com o LAI. Sugere-se a necessidade de melhorias do modelo ETA para o período de menor precipitação e o LAI pode ser uma variável importante para melhoria da estimativa de precipitação do modelo ETA no período de

menores precipitações. Pode-se sugerir que o LAI pode ajudar na melhoria da estimativa da precipitação do ETA.

Danelichen *et al.* (2014) obtiveram resultados satisfatórios em relação aos valores de LAI e a precipitação. O LAI estimado pelo produto MODIS demonstrou maior correlação com a precipitação obtida pelo TRMM apresentando correlação positiva ( $R^2$  0,8662;  $p$ -valor  $<0,05$ ). Provavelmente, esse resultado é devido ao fato das estimativas serem oriundas de sensores orbitais, tanto o produto MODIS e a precipitação do TRMM. O que não é o caso do presente estudo, uma vez que a correlação é feita pelo sensor MODIS e o modelo climático ETA, dois mecanismos de funções distintas. Contudo, pode-se afirmar que tanto os dados observados quanto os dados modelados possuíram correlação significativa com o produto do MODIS, mesmo com o déficit hídrico presente na maior parte dos anos analisados, o que compromete o desenvolvimento da vegetação.

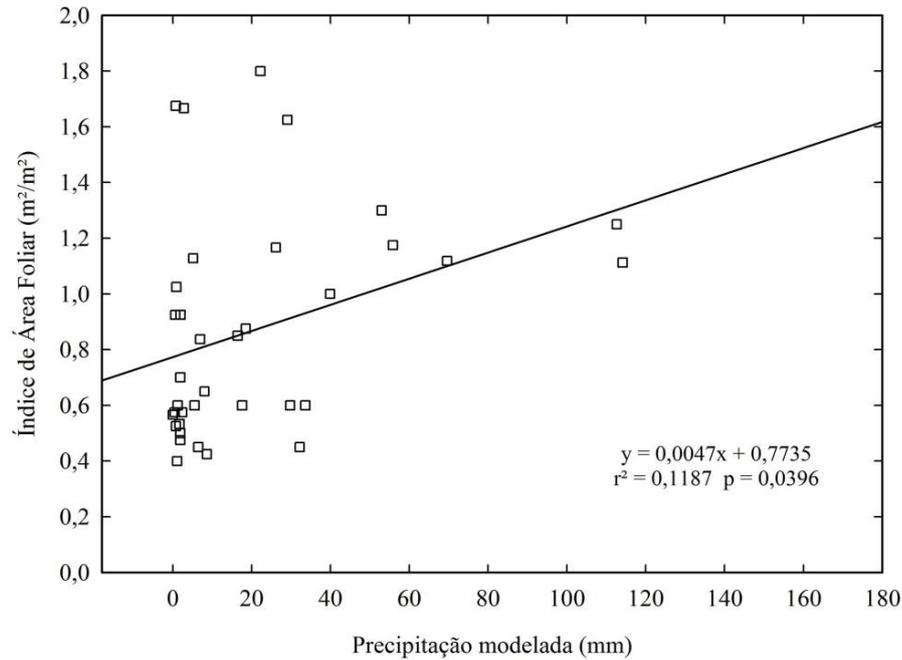


Figura 05: Correlação do LAI com a precipitação observada.

A Figura 06 mostra a frequência do LAI com a precipitação modelada pelo ETA climático, percebe-se com o resultado que a precipitação projetada não corresponde ao LAI da região, exceto para os meses de março do no de 2011 com

precipitação de 112,64 mm e para o mês de janeiro de 2013 com 114,13 mm, este mês o modelo teve uma ótima resposta, pois conseguiu prever o extremo de chuva, que para foi de 103,87 mm, observado.

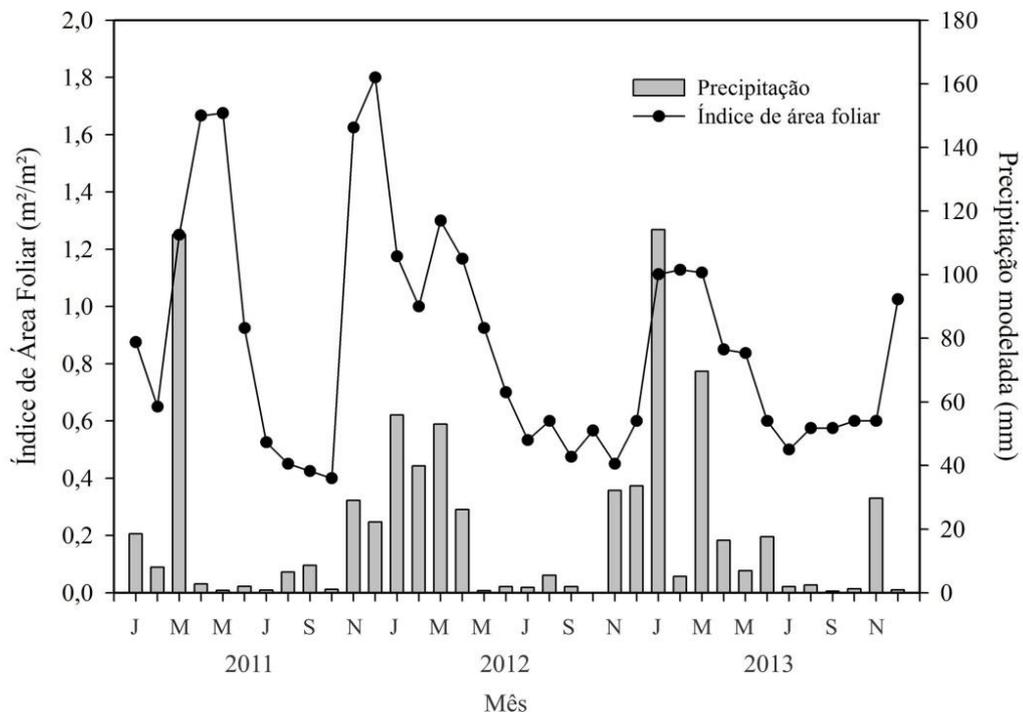


Figura 06: Frequência das médias do LAI com a precipitação modelada para os anos de 2011 a 2013.

## Conclusões

O entendimento da dinâmica do índice de área foliar espacial e temporal pode ajudar no entendimento da dinâmica espacial e temporal da precipitação na caatinga.

Acredita-se que a estimativa da precipitação pelo modelo ETA pode ser melhorada com o uso do índice de área foliar.

Sugere-se que novos estudos sejam realizados utilizando modelos robustos que estimam índice de área foliar e possam melhorar as estimativas da precipitação obtidas com o modelo ETA.

## Agradecimentos

Agradecemos a FACEPE pela concessão de bolsa de mestrado a segunda autora.

Agradecemos a Rodrigo Queiroga de Miranda pela construção dos gráficos.

## Referências

- Brito, P. V. S.; Morais, Y. C. B.; Ferreira, H. S.; Silva, J.F.; Galvêncio, J. D. 2017. Análise comparativa da umidade da vegetação de áreas de caatinga preservada, agricultura irrigada e sequeiro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2, 493-498.
- França, L. M. A.; Costa, V. S. O.; Galvêncio, J. D. 2020. Relação entre o conceito de natureza e sequestro de carbono - aplicações em área de semiárido. *Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais*, 9, 18-26.
- Galvêncio, J. D. 2020. Estimation of surface temperature with images obtained with drones. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, 397-406.
- Galvêncio, J. D.; Naue, C. R. 2020. Estimation of NDVI with visible images (RGB) obtained with drones. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, 407-420.
- Galvêncio, J. D. 2017. Relation of leaf water content with real evapotranspiration and biomass in Caatinga biome, using remote sensing data. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 1545-1551.
- Galvêncio, J. D.; França, L. M. A.; Pereira, J. A. S. 2012. Climate Characterization Using Water Balance and NDVI for City of Paulista-PE. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 2, 25-36.
- Lacerda, A. C.; Galvêncio, J. D.; Morais, Y. C. B.; Pimentel; Moura, M. S. B. 2020. Influência topoclimática na produção primária bruta no semiárido. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 3119-3135.
- Lins, C. J. C.; Albuquerque, M. J. C. 2001. A região semiárida do Nordeste do Brasil. In: *Revista do Instituto Brasileiro de Edições Pedagógicas. Área de conhecimento Geografia. Ano 1*, 14.
- Lopes, P. M. S. 2005. Metodologias de Calibração e validação do modelo de simulação climática CLIGEN de apoio à modelação de perda do solo. *Dissertação de Mestrado em Engenharia do Solo e da Água*.
- Miranda, R. Q., Nóbrega, R. L. Moura, M. S. B.; Srinivasan, R., Galvêncio, J. D. 2020. Realistic and simplified models of plant and leaf area indices for a seasonally dry tropical forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 85, 101992.
- Miranda, R. Q.; Galvêncio, J. D.; Morais, Y. C. B.; Moura, M. S. B.; Jones, C. A.; Srinivasan, R. . 2018. Dry forest deforestation dynamics in Brazil's Pontal basin. *Revista Caatinga*, 31, 385-395.
- Miranda, R. Q.; Galvêncio, J. D.; Moura, M. S. B.; Jones, C. A.; Srinivasan, R. 2017. Reliability of MODIS Evapotranspiration Products for Heterogeneous Dry Forest: A Study Case of Caatinga. *Advances in Meteorology*, 2017, 1-14.
- Medeiros, S. Silva, E.; Machado, C. C. C.; Galvêncio, J. D.; Moura, M. S. B.; Araujo, H. F. P. 2019. Data of plant diversity, spectral reflectance at specie level and satellite spectral variables from the largest dry forest nucleus in South America. *Data in brief*, 25, 104335.
- 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*, 32, 585-599.
- PERNAMBUCO. 2006. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco. Simone Rosa da Silva (Org.), Recife: Ed. A Secretaria.
- Pinheiro, K. R.; Alves, E. R.; Alves, M. V.; Galvêncio, J. D. 2020. Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5, 221.
- Silva, E. R. A. C.; Galvêncio, J. D.; Nascimento, K. R. P.; Santana, S. H. C.; Souza, W. M.; Costa, V. S. O. 2018. Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica

- interanual e intra-anual no semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22, 76-98.
- Silva, J. N. B.; Silva, J. L. B.; Silva, A. C. ; Santos, A. M.; Galvêncio, J. D. 2017. Índice de vegetação como subsídio na identificação de áreas com potenciais a desertificação. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2, 358-367.
- Silva, M., de Moura, F., & Jardim, C. 2017. O diagrama de Caixa (Box Plot) Aplicado à Análise da Distribuição Temporal das Chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil (The box diagram (Box Plot) applied to the analysis of the temporal distribution of rainfall in ...). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(1), 023-040. doi:<https://doi.org/10.5935/1984-295.20170003>
- Silva, L. G.; Galvêncio, J. D. Comparative 2012. Analysis of Changes in NDVI and SAVI in PELD - 22 - Petrolina - PE, in the First Decade of the XXI Century. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5, 1446-1456.
- SONDA. 2014. Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/petrolina.html>>. Acesso em 15 mai. 2014.