

# ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E O NDVI SOBRE O ESTADO DA PARAÍBA UTILIZANDO DADOS TRMM E DE PLUVIÔMETROS

Reginaldo Moura Brasil Neto <sup>1</sup>, Celso Augusto Guimarães Santos <sup>2</sup> & Isabel de Araújo Meneses <sup>3</sup>

**RESUMO** – Entender o comportamento espaço-temporal da vegetação e sua relação com a precipitação é de suma importância para o desenvolvimento da agricultura e da população nos diferentes aspectos. Este trabalho objetiva realizar uma análise de correlação entre o índice NDVI (*normalized difference vegetation index*) e a precipitação sobre o estado da Paraíba, utilizando dados de pluviômetros e dados do satélite TRMM (*tropical rainfall measuring mission*) ao longo de 16 anos (2000–2015). Foram utilizados diferentes períodos de defasagem para correlacionar as séries de NDVI com as séries de precipitação sobre quatro diferentes regiões do estado da Paraíba e os resultados mostram que o padrão das coberturas vegetais segue o mesmo comportamento ao longo do ano, respondendo aos períodos secos e chuvosos. Apesar de ter sido encontrada diferença entre os resultados obtidos por TRMM e por pluviômetros para cada região, utilizar menores períodos de defasagem entre as séries de precipitação e de NDVI promoveu melhores resultados para todos os tipos de cobertura vegetal, destacando-se a vegetação rasteira como tipo de cobertura vegetal que apresentou os melhores resultados de correlação com a chuva.

**Palavras-Chave** – NDVI, Precipitação, Paraíba.

**ABSTRACT**– Understanding the spatial-temporal behavior of vegetation and its relationship to precipitation is of paramount importance for the development of agriculture and the population in different aspects. This work aims to perform a correlation analysis between the normalized difference vegetation index (NDVI) and precipitation over the state of Paraíba, using rainfall data and TRMM (tropical rainfall measuring mission) satellite data over 16 years (2000–2015). Different lag periods were used to correlate the NDVI time series with the rainfall time series on four different regions of the state of Paraíba and the results show that the pattern of the vegetation covers the same behavior throughout the year, responding to dry and rainy periods. Although a difference was found between the results obtained by TRMM and by rain gauges for each region, using shorter periods of lag between the rainfall and NDVI time series promoted better results for all types of vegetation cover, grassland vegetation showed to be the vegetation cover which presented the best correlation results with the rainfall.

**Keywords** – NDVI, Precipitation, Paraíba state.

## INTRODUÇÃO

Diante da diversidade de características físicas e das significativas mudanças climáticas que afetam o nosso planeta, entender o comportamento espaço-temporal da vegetação e dos ecossistemas é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável de qualquer região. Desse modo, diversos índices de vegetação têm sido desenvolvidos para entender aspectos relacionados a área foliar e parâmetros de biomassa, por exemplo, e o NDVI (*Normalized*

1) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, regismouraneto@hotmail.com

2) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, celso@ct.ufpb.br

3) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, isabel7meneses@gmail.com

*Difference Vegetation Index*), desenvolvido por Rouse *et al.* (1973), é um dos mais utilizados ao longo dos últimos anos (Freire e Santos 2015). Além disso, sabe-se que variáveis como evapotranspiração, temperatura e clima podem influenciar o comportamento das diferentes culturas espalhadas pelo mundo (Kulikov e Schickhoff 2017; Zhao *et al.* 2017) e diante desse fato, inúmeros estudiosos vêm analisando a correlação entre o índice NDVI e a precipitação.

Por ser um país com alto nível de produção agrícola, análises que relacionam a precipitação com o índice NDVI no Brasil são de suma importância para o desenvolvimento da agricultura e auxiliam o entendimento de como a precipitação influencia o desenvolvimento das culturas (Ávila *et al.* 2009; Araújo *et al.* 2011). Entretanto, para realizar estudos desse tipo é necessário utilizar uma rede de dados pluviométricos confiáveis e contínuos, capazes de caracterizar o padrão da chuva de diferentes regiões. No Brasil, esse monitoramento é desafiador e isso se deve ao fato de que o Brasil é um país de dimensões continentais e que apresenta diferentes regimes climáticos (Rao *et al.* 2015). Sendo assim, muitas vezes a rede de pluviômetros não abrange todo o território analisado, gerando lacunas nas séries de dados pluviométricos e distorcendo o produto final das análises.

Nesse contexto, satélites de sensoriamento remoto que têm potencial de observar informações de maneira sistemática sobre grandes domínios espaciais vêm ganhando cada vez mais espaço na obtenção das estimativas de precipitação ao longo dos últimos anos, e dentre eles, destaca-se o satélite TRMM (*tropical rainfall measuring mission*) (Kummerow *et al.* 1998). Diversos estudiosos vêm analisando o produto das estimativas do TRMM para o Brasil e o mundo, e na maioria parte dos casos, os resultados comprovam que os produtos desse satélite são capazes de identificar bem o padrão da precipitação em diversas regiões (Pereira *et al.* 2013; Soares *et al.* 2016; Paska *et al.* 2017).

A Paraíba, estado localizado na região semiárida do Brasil, é uma região que vem sendo frequentemente afetada pelas secas (Brasil Neto *et al.* 2017) na qual ainda se desenvolvem culturas de subsistência, principalmente nas áreas mais pobres do estado. Logo, entender a relação entre a precipitação e o índice NDVI é de fundamental importância para auxiliar processos de tomadas de decisões que possibilitem o desenvolvimento da agricultura e da população nos mais diferentes aspectos. Assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise a respeito da correlação entre o índice NDVI e a precipitação sobre regiões do estado da Paraíba, utilizando dados de pluviômetros e dados do satélite TRMM ao longo de 2000 a 2015.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

Neste estudo, foram analisadas quatro áreas distribuídas sobre as diferentes mesorregiões do estado da Paraíba com áreas de aproximadamente 600 km<sup>2</sup> (24 km × 24 km) cada. A notação e os

centroídes dessas áreas em coordenadas de latitude e longitude são (a) P1, localizado no Sertão, coordenadas  $-7.00^\circ$  e  $-37.75^\circ$ ; (b) P2, localizado na Borborema, coordenadas  $-7.50^\circ$  e  $-36.75^\circ$ ; (c) P3, localizado no Agreste Paraibano, coordenadas  $-7.00^\circ$  e  $-36.00^\circ$ ; e (d) P4, localizado na Mata Paraibana, coordenadas  $-7.25^\circ$  e  $-35.00^\circ$ . Além disso, é interessante destacar que a Paraíba apresenta grande variabilidade de características físicas, tal que (a) quanto ao relevo, há variação desde planícies no litoral até depressões no Sertão, (b) quanto ao clima, há tanto predomínio do clima tropical úmido na região litorânea até clima semiárido mais ao interior do estado, (c) quanto a vegetação, são encontradas desde vegetações arbustivas e com restos de mata atlântica na região litorânea, até a caatinga após o Planalto da Borborema, e (d) quanto a precipitação, o regime pluviométrico é irregular e varia de região para região. A representação esquemática do estado da Paraíba e suas mesorregiões é mostrado na Figura 1.

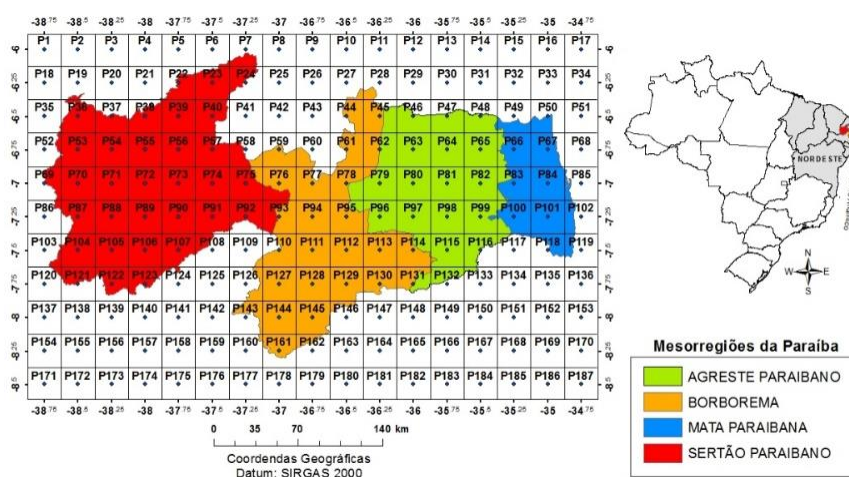


Figura 1 – Estado da Paraíba e suas mesorregiões

### Dados TRMM

Os dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto foram adquiridos através do satélite TRMM da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) 3B42v7 que coleta informações sobre o clima das regiões tropicais e subtropicais do planeta (Santos *et al.* 2017). O satélite fornece dados de precipitação a cada 3 horas com uma resolução espacial de cerca de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , assim como mostrado na Figura 1. Desse modo, as estimativas diárias de precipitação das quatro áreas amostrais foram obtidas mediante acumulação dos dados horários desde o dia 02 fevereiro de 2000 até 31 de dezembro de 2015

### Dados pluviométricos

Os dados de precipitação de pluviômetros foram disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) e têm a mesma abrangência temporal do que os dados TRMM. Foram utilizados dados diários de precipitação de 19 postos pluviométricos, sendo três deles localizados nos limites do P1, dois localizados nos limites do P2, quatro localizados nos limites do P3 e os

outras dez estações localizadas nos limites do P4. Neste trabalho, foi utilizada a mesma abordagem de Nicholson *et al.* (2013), que consiste em comparar os valores de cada ponto da grade TRMM com o valor médio dos pluviômetros localizados em cada quadrícula TRMM. Sendo assim, obtiveram-se quatro séries de chuva diária que representam a média da precipitação diária dos pluviômetros inseridos dentro de cada área amostral.

## Índice NDVI

O NDVI é um dos índices foliares mais utilizados no mundo e tem grande importância para o entendimento e estimativa da cobertura vegetal, biomassa e produção primária. Calculado através da diferença normalizada entre os valores de bandas espectrais do vermelho próximo com o vermelho, valores de NDVI podem variar teoricamente de -1 a 1. Valores próximos a -1 indicam ausência de vegetação ou solo exposto, enquanto valores próximos a 1 indicam grande quantidade de vegetação em estado saudável (Freire e Santos 2015).

Foram obtidas 366 imagens através da utilização do sensor MODIS (Terra) para cada área amostral ao longo do período de 18/02/2000 a 01/01/2016, contendo cada imagem cerca de 9600 pixels com resolução espacial de 250m. Além disso, foi utilizado o produto MCD12Q1 do sensor MODIS para caracterizar a cobertura vegetal de cada área amostral (Figura 2) e foram obtidas as séries de NDVI médio de cada cobertura vegetal e de cada área amostral. As notações utilizadas neste trabalho são as seguintes: (a) LC 2, *evergreen broadleaf forest*; (b) LC 4, *deciduous broadleaf forest*; (c) LC 6, *closed shrublands*; (d) LC 8, *woody savannas*; (e) LC 9, *savannas*; (f) LC 10, *grassland*; (g) LC 11, *permanent wetlands*; (h) LC 12, *croplands*; (i) LC 13, *urban built up*; (j) LC 14, *natural vegetation*; e (k) LC 17, *water*.

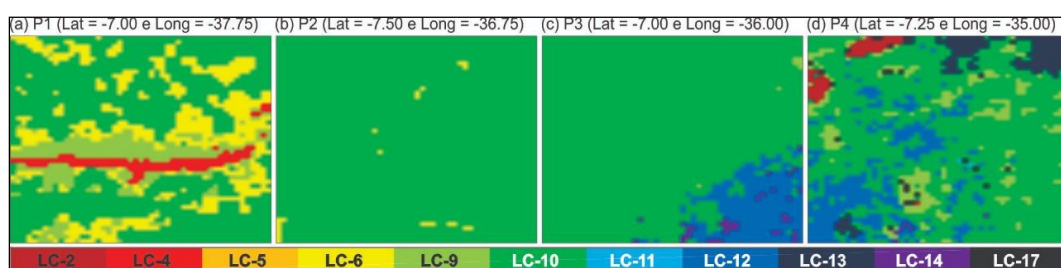


Figura 2 – Cobertura vegetal para as áreas amostrais utilizando produto MCD12Q1 do MODIS

## Análise de correlação

A correlação linear entre a série de dados pluviométricos e a série NDVI foi feita utilizando a precipitação diária acumulada ao longo do período de 16 dias antecedentes a imagem do NDVI, utilizando a mesma abordagem de Freire e Santos (2015). Neste estudo, a primeira imagem de NDVI disponível para todas as quatro áreas amostrais é do dia 18 de fevereiro de 2000 e assim, estima-se que por esse produto se tratar de uma composição de 16 dias, o período de composição

desse resultado vai desde o dia 02 de fevereiro de 2000 até o dia 17 de fevereiro de 2000, por exemplo. Sabendo o período de abrangência de cada uma das 1464 imagens analisadas (366 imagens  $\times$  4 áreas amostrais), os dados de precipitação foram acumulados ao longo do todo o período de 16 dias que antecede a imagem de composição do NDVI.

Além disso, foi feita uma análise a respeito das defasagens entre as séries de precipitação e as séries NDVI, tendo em vista que a vegetação pode demorar a responder aos efeitos da precipitação; i.e., pode haver variação entre os tipos de cobertura vegetal quanto à resposta a determinado evento chuvoso. Foram utilizados três períodos de defasagem para correlacionar as séries de precipitação e as séries NDVI, sendo eles (a) Lag-0, (b) Lag-1 e (c) Lag-2. Ao utilizar o período de defasagem (a) Lag-0, não há defasagem entre as séries correlacionadas. Já para os períodos (b) Lag-1 e (c) Lag-2 há defasagem entre as séries de precipitação e de NDVI de uma e duas imagens, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliadas as estimativas de precipitação do TRMM e das estações pluviométricas para cada uma das áreas amostrais com intuito de verificar o quanto essa diferença pode influenciar os valores dos coeficientes de correlação obtidos com as séries NDVI. A Figura 3 mostra a comparação entre a precipitação média mensal para cada uma das áreas amostrais utilizando dados TRMM e dados pluviométricos ao longo do período de 16 anos (2000–2015). Em termos estatísticos, os coeficientes de correlação obtidos entre os dados TRMM e dados de pluviômetros analisando a precipitação média mensal são de 0.99, 0.98, 0.89 e 0.93 para os pontos P1, P2, P3 e P4, respectivamente.

No P1 (Figura 3a), o período mais chuvoso vai de janeiro a abril, enquanto o período mais seco vai de junho a novembro, com precipitação média mensal variando em torno de 200 mm nos meses mais úmidos. Percebe-se também que em quase todos os meses, as estimativas do satélite TRMM tenderam a ser superestimadas se comparadas a precipitação obtida por pluviômetros. Já para o P2 (Figura 3b), identificou-se um comportamento bastante similar ao encontrado no P1, com período chuvoso de janeiro a junho e período seco de julho a novembro, destacando-se também o fato de que as estimativas de precipitação do TRMM tenderam a superestimar a precipitação se comparadas as estimativas obtidas por pluviômetros.

Para o P3 (Figura 3c), nota-se que a precipitação é baixa, com precipitações médias mensais que dificilmente ultrapassam 100 mm, estando a chuva concentrada no período de janeiro a julho. Os dados TRMM tenderam a ser superestimadas se comparadas as estimativas obtidas por dados de pluviômetros, corroborando com os resultados de Soares *et al.* (2016). Por fim, para o P4 (Figura 3d), identificaram-se os maiores níveis pluviométricos dentre todas as outras áreas, com período chuvoso de abril a junho e o período seco de agosto a dezembro. Além disso, percebe-se que os

valores de precipitação média mensal são os mais altos dentre as outras áreas analisadas, chegando a ultrapassar os 300 mm. Uma particularidade dessa região é que as estimativas do satélite TRMM tendem a ser subestimadas se comparadas os dados de pluviômetros, resultado que também foi encontrando por Soares *et al.* (2016).

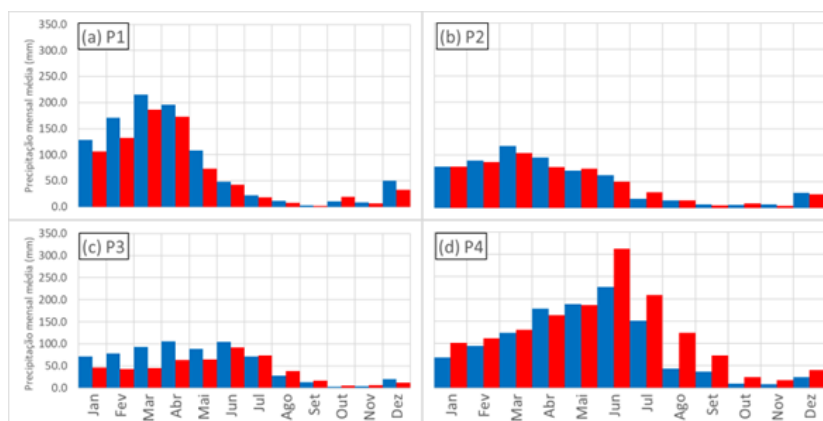


Figura 3 – Comparação da precipitação média mensal para o (a) P1, (b) P2, (c) P3 e (d) P4 utilizando dados TRMM (azul) e dados pluviométricos (vermelho) para o período 2000–2015

Em seguida, o comportamento temporal do índice NDVI para cada tipo de cobertura vegetal e para cada área amostral foi analisado (Figura 4). Os resultados mostram que para um mesmo tipo de cobertura vegetal, há um comportamento semelhante das séries ao longo do tempo, independente da área analisada. No entanto, é perceptível que em alguns casos, ainda que esteja sendo analisado um mesmo tipo de cobertura vegetal, há variação dos valores de NDVI de região para região. Para o P1 (Figura 4a), nota-se que o comportamento do índice NDVI para todos os quatro tipos de cobertura vegetal são muito semelhantes entre si. No geral, os valores de NDVI tendem a aumentar a partir do período de dezembro e a diminuir a partir de abril, coincidindo com o período chuvoso e o período seco para a região, assim como mostrado na Figura 3a. Além disso, a partir do ano de 2012, percebe-se que os valores de NDVI dos quatro tipos de cobertura vegetal passaram a diminuir e uma possível explicação para esse fato é mostrada por Brasil Neto *et al.* (2017) em seu estudo sobre análise da seca sobre a Paraíba, indicando que ao longo do período de 2012 a 2015, o estado foi significativamente atingido por secas de longo-prazo. Quanto aos tipos de cobertura vegetal, a cobertura LC 4 foi a que apresentou em média os maiores valores de NDVI e o menor valor de coeficiente de variação ao longo do tempo, seguida dos tipos LC 9, LC 6 e LC 10, respectivamente.

No P2 (Figura 4b), percebe-se que o comportamento entre as séries NDVI também foi muito semelhante. Os valores de NDVI passaram a aumentar a partir de dezembro e começaram a diminuir a partir de maio, coincidindo basicamente com o período chuvoso e seco da área. Além disso, destaca-se que também foi notório o rebaixamento dos valores de NDVI para todos os tipos de cobertura vegetal, principalmente a partir do final de 2011. Quanto ao tipo de cobertura vegetal, nota-se que os valores de NDVI do LC 10 do P2 foram menores se comparados aos valores encontrados para o P1, e isso pode estar ligado ao fato de que a precipitação no P2 é inferior a

precipitação no P1 (Figura 3), o que ocasionou uma discrepância maior entre as séries NDVI dos tipos LC 6 e LC 10. No P3 (Figura 4c), identificou-se mais uma vez um comportamento padrão entre os tipos de cobertura vegetal, onde os valores de NDVI eram mais altos de fevereiro a maio e passavam a diminuir significativamente a partir de julho. Ainda a respeito da variação temporal do índice foliar, verificou-se a diminuição dos valores de NDVI a partir do ano de 2011. Para essa área, o tipo de cobertura LC 9 foi o que apresentou os maiores valores de NDVI médio, seguido dos tipos LC 10, LC 14 e LC 12. Destaque para o LC 12 que foi o tipo de cobertura vegetal com o menor valor médio de NDVI dentre todos os outros tipos e dentre todas as áreas analisadas.

No P4, localizado na Mata Paraibana (Figura 4d), os resultados indicam que os valores de NDVI também tendem a ter o comportamento influenciado pela variação da precipitação, sendo o período de abril a junho os que os valores de NDVI são mais altos. Diferentemente do que foi analisado para as outras regiões da Paraíba, percebe-se que os valores de NDVI não reduziram consideravelmente a partir do ano de 2012, à exceção de coberturas LC 9 e LC 14. A explicação encontrada é a mesorregião localizada no litoral do estado foi a menos atingida pelas secas de longo-prazo e assim sendo, isso pouco influenciou a variação do índice NDVI (Brasil Neto *et al.* 2017). Além disso, percebeu-se que os valores de NDVI médio para cada cobertura tiveram valores elevados se comparados as outras áreas e que o índice NDVI variou pouco ao longo do tempo. Ao se analisar a cobertura tipo LC 10, por exemplo, os valores dos coeficientes de variação encontrados para as regiões do Sertão, da Borborema, do Agreste e da Mata Paraibana foram de 0.34, 0.32, 0.28 e 0.13, respectivamente.

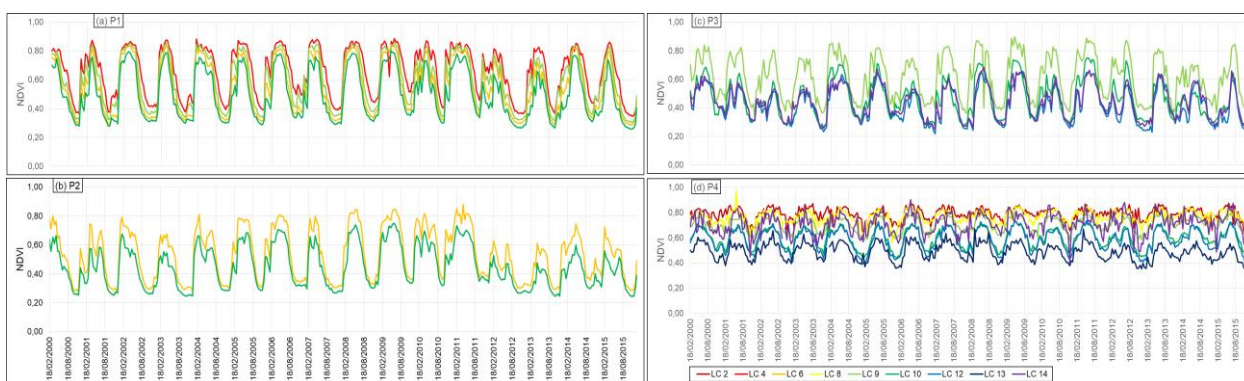


Figura 4 – Comportamento temporal do índice NDVI médio para cada tipo de cobertura vegetal (2000–2015)

Por fim, foram realizadas as análises dos coeficientes de correlação considerando cada tipo de cobertura vegetal, cada tipo de dados de precipitação e cada período de defasagem (Figura 5). Para o P1, os resultados mostram que (a) quanto ao período de defasagem, os melhores resultados foram para períodos Lag-0 e Lag-1, enquanto os resultados do período de defasagem Lag-2, por sua vez, foram os que proporcionaram os piores resultados da análise para todos os tipos de cobertura vegetal; (b) quanto ao tipo de dado de precipitação, ao utilizar dados TRMM os resultados dos foram melhores do que ao se utilizar dados oriundos de pluviômetros, independentemente do tipo

de cobertura vegetal e período de defasagem; e (c) quanto aos tipos de cobertura vegetal, os melhores resultados foram para as coberturas vegetais LC 6 e LC 10, enquanto os piores resultados foram do tipo LC 4.

Para o P2, (a) percebe-se que os melhores resultados são encontrados ao utilizar períodos Lag-0 e Lag-1, enquanto os piores resultados são para o período Lag-2; (b) quanto aos dados de chuva, nota-se que não houve mudança significativa entre os resultados ao serem utilizados diferentes tipos de dados de precipitação; já (c) quanto aos tipos de cobertura vegetal, nota-se que os comportamentos dos dois tipos de cobertura existentes na área foram muito semelhantes. Em comparação com os resultados encontrados para o P1, percebe-se que os valores dos coeficientes de correlação para esses mesmos tipos de cobertura vegetal (LC 6 e LC 10) são mais baixos independentemente do período de defasagem utilizado.

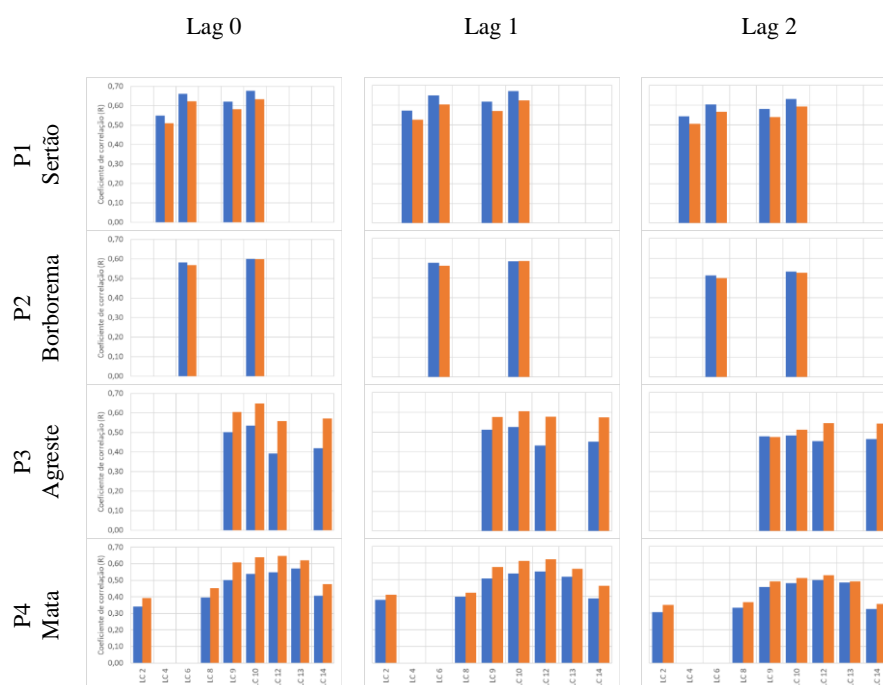


Figura 5 – Coeficientes de correlação entre precipitação (dados TRMM em azul e dados pluviométricos em laranja) e o índice NDVI (2000–2015)

Para o P3, nota-se que (a) quanto ao período de defasagem, os resultados variaram em função do tipo de cobertura vegetal analisado. Para o LC 9 e LC 10, os melhores resultados foram obtidos ao utilizar o período de defasagem Lag-0, enquanto que para o tipo LC 12 e LC 14, utilizar o Lag-1 gerou os melhores resultados; (b) quanto aos dados de precipitação, utilizar dados de pluviômetros fez com que os resultados fossem melhores do que ao se utilizar dados TRMM; e (c) quanto aos tipos de cobertura, os melhores resultados foram encontrados para o LC 9 e LC 10, enquanto os piores resultados foram encontrados para o LC 12.

Já para o P4, (a) identificou-se um comportamento semelhante ao encontrado nas outras áreas. Em geral, os períodos de defasagem Lag-0 e Lag-1 são os que apresentam os melhores



resultados, enquanto o Lag-2 é o que apresenta os piores resultados; (b) quanto ao tipo de dados de chuva, os melhores resultados são encontrados utilizando dados de pluviômetros; e (c) quanto aos tipos de cobertura vegetal, percebeu-se que os melhores valores são encontrados para LC 9, LC 10, LC 12 e LC 13, enquanto os outros tipos de cobertura tendem a apresentar valores de correlação baixos.

## CONCLUSÕES

A partir deste estudo, foi possível realizar uma análise a respeito da correlação entre a precipitação e o índice NDVI utilizando diferentes tipos de dados de precipitação e períodos de defasagem para cada tipo de cobertura vegetal. Quanto ao comportamento temporal do índice NDVI, os resultados mostram que ao analisar cada área isoladamente, o comportamento entre os diferentes tipos de cobertura vegetal tende a ser mesmo a coincidir com o período úmido e seco de cada região, sendo fenômenos extremos como as secas fatores capazes de influenciar os valores de NDVI, independentemente do tipo de cobertura vegetal analisado.

Dados TRMM geram melhores resultados de correlação com NDVI para a região do Sertão, dados pluviométricos para o Agreste e para a Mata Paraibana e praticamente não há diferença em utilizar dados TRMM ou dados de pluviômetros para a Borborema. Quanto a defasagem entre as séries, os melhores resultados de correlação foram encontrados para os períodos Lag-0 e Lag-1, enquanto que o período de defasagem Lag-2 gerou os piores resultados. Quanto aos tipos de cobertura vegetal, percebeu-se que para a Paraíba, os melhores resultados de correlação entre o índice NDVI e a precipitação foram encontrados para a cobertura LC 10 (*grasslands*) mesmo em função das diversas variáveis existentes nas análises realizadas.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G.K.D.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. (2011). “*Relação entre NDVI da cultura da soja e dados de precipitação de estações meteorológicas e do modelo ECMWF, no estado do Paraná*” in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Abril/Maio. 2011, 1, pp. 254–260.
- ÁVILA, A.M.H.; GONÇALVES, R.R.V.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J. (2009). “*Relação entre a precipitação e o NDVI em imagens AVHRR/NOAA para a cana-de-açúcar, no estado de São Paulo*” in Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Abril. 2009, 1, pp. 553–560.
- BRASIL NETO, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M. (2017). “*Análise espacial da seca no estado da Paraíba em 2015 utilizando dados do satélite TRMM e SPP*” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, Nov. 2017, 1, pp. 1 – 8.
- FREIRE, P.K.M.M.; SANTOS, C.A.G. (2015). “*Relação do NDVI com a precipitação nas mesorregiões paraibanas*” in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, Nov. 2015, 1, pp; 1–8.

- KULIKOV, M.; SHICKHOFF, U. (2017). “*Vegetation and climate interaction patterns in Kyrgyzstan: spatial discretization based on time series analysis*”. *Erkunde* 71(2), pp. 143–165.
- KUMMEROW, C.D.; BARNES, W.; KOZU, T.; SHIUE, J.; SIMPSON, J. (1998). “*The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package*”. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 15(1), pp. 809–817.
- NICHOLSON, S.E.; SOME, B.; MCCOLLUM, J.; NELKIN, E.; KLOTTER, D.; BERTE, Y.; DIALLO, B.M.; GAYE, I.; KPABEBA, G.; NDIAYE, O.; NOUKPOZOUNKOU, J.N.; TANU, M.M.; THIAM, A.; TOURE, A.A.; TRAORE, A.K. (2003). “*Validation of TRMM and other rainfall estimates with a high-density gauge dataset for West Africa. Part II: validation of TRMM rainfall products*”. *Journal of Applied Meteorology* 42(10), pp. 1355–1368.
- PASKA, J.; LAU, A.M.S.; TAN, M.L.; TAN, K.C. (2017). “*Evaluation of TRMM 3B42V7 product on extreme precipitation measurements over peninsular Malaysia*” in *SPIE Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XIX*, Varsóvia, Nov. 2017, 10421, pp. 1–6.
- PEREIRA, G.; SILVA, M.E.S.; MORAES, E.C.; CARDOZO, F.S. (2013). “*Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil*”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 18(3), pp. 139–148.
- RAO, V.B.; FRANCHITO, S.H.; SANTO, C.M.E; GAN, M.A. (2015). “*An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011*”. *International Journal of Climatology* 36(1), pp. 291–302.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. (1973). “*Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*”, *Prog. Rep. RSC 1978-1*, Remote Sensing Center, Texas A&M University, College Station, nr. E73-106393, 93. (NTIS No. E73-106393)
- SANTOS, C.A.G.; BRASIL NETO, R.M.; PASSOS, J.S.A.; SILVA, R.M. (2017). “*Drought assessment using a TRMM-derived Standardized Precipitation Index for the Upper São Francisco River basin, Brazil*”. *Environmental Monitoring and Assessment* 189(6), pp. 1–19.
- SOARES, A.S.D.; PAZ, A.R.; PICCILLI, D.G.A. (2016). “*Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba*”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21(2), pp. 288–299.
- ZHAO, X.; FU, Z.; SUN, H.; OTSUKI, K.; YU, J.; WANG, G. (2017). “*Temporal and spatial variations of vegetation response to dynamic change of meteorological factors and groundwater in the Heihe River Basin, China*”. *Journal of the Faculty of Agriculture* 62(2), pp. 503–511.