

# Análise de redes de precipitação baseadas em séries temporais de um radar meteorológico

Iuri da Silva Diniz<sup>1</sup>

Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil

Aurelienne A. S. Jorge

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil

Leonardo B. L. Santos

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos, Brasil

Vander L. S. Freitas

Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil

Recentemente, Jorge *et al.* [2] analisaram as relações espaciais entre séries temporais contendo informações sobre a precipitação na região da bacia do rio Tamanduateí, localizada no estado de São Paulo. Os dados, provenientes de um radar meteorológico, estão distribuídos em uma grade de pontos ao longo da área da bacia com uma resolução espacial de 1km. Além da organização geográfica, eles também estão distribuídos temporalmente em intervalos de 10 minutos. Trata-se de um conjunto 587 séries temporais espalhadas ao longo da região analisada, possuindo, cada uma, mais de 4000 observações correspondentes ao mês de janeiro de 2015.

Investigou-se a correlação entre as séries temporais por meio da correlação de Pearson e efetuou-se a seleção dos pares cuja correlação fosse superior a um determinado limiar (um coeficiente de correlação crítico). De posse desse agrupamento de pares, foi construído um grafo geográfico, no qual os vértices correspondem a uma localização geográfica — os pontos ao longo da bacia — e as arestas são criadas de forma que há uma dependência espacial intrínseca — no caso, de acordo com a similaridade no regime de precipitação [4]. A análise da rede resultante evidenciou a tendência de ligações apenas entre arestas cuja distância no espaço era de no máximo 2,5km. Concluiu-se, então, para esse estudo, a presença de uma relação de dependência entre a distribuição geográfica dos pontos analisados e as séries a eles associadas.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise semelhante, tendo o mesmo ponto de partida, mas alterando a forma com que as correlações temporais são estabelecidas. A correlação de Pearson entre as séries temporais dá lugar a um processo de comparação entre redes geradas a partir de cada série temporal.

Utilizou-se 3 algoritmos: *Dynamical Characterization using Symbolic Dynamics* (DCSD), *Dynamical Characterization with the Top Integral Function* (DCTIF) [1] e o *Visibility Graph* (VG) [3]. Os algoritmos DCTIF e DCSD realizam o mapeamento dos valores de uma série em um conjunto de valores inteiros que representam os nós de uma rede. Cada valor desse conjunto (nó) irá se ligar com o seguinte, formando uma rede correspondente. O algoritmo VG converte cada observação de uma série em um nó, fazendo com que a quantidade de nós da rede seja igual a quantidade de

---

<sup>1</sup>iuri.diniz@aluno.ufop.edu.br

elementos na série temporal. Os links da rede são criados a partir de um critério de visibilidade, que é a relação matemática responsável por avaliar a presença de algum outro elemento entre os dois analisados. Geometricamente, o link entre um par de pontos é formado se for possível traçar uma reta entre eles.

Diferente da estratégia de cálculo da correlação de Pearson abordada em [2], aqui são comparados os vetores contendo métricas das redes provenientes das séries. Utiliza-se 5 medidas de distância: *Euclidiana*, *Manhattan*, *Canberra*, *Cosseno* e *Jensen-Shannon*. Os vetores são, basicamente, de dois tipos: vetores com apenas uma métrica, onde há um valor de métrica para cada nó, e vetores com métricas que geram apenas um valor para toda a rede — nesse caso inclui-se a média das sequências descritas primeiramente. Um exemplo para o primeiro caso seria a métrica de grau dos nós (*Degree*), definida como o número de conexões que um nó possui. O vetor formado pela sequência dos graus dos nós da rede é comparado com o vetor das outras redes. O segundo tipo de vetor possui informações como o diâmetro da rede, que pode ser definido como o maior comprimento de caminho mínimo observado entre dois nós.

Foram investigados 6 vetores diferentes para cada uma das 1761 redes — faz-se necessário ressaltar que são 587 séries temporais distribuídas no espaço, porém cada uma é convertida em rede usando 3 algoritmos distintos —, sendo que cada vetor é comparado usando cada uma das 5 métricas de distância supracitadas. O algoritmo VG se mostrou mais eficaz do que o DCSD e o DCTIF em demonstrar a presença de uma correlação espaço-temporal nos dados. Observou-se que quanto maior a distância entre os pontos no espaço (cada um possuindo uma rede associada), maior também foi o resultado das medidas usadas na comparação entre as redes. O inverso também se fez presente, pois os menores valores de distância entre métricas de rede foram observados entre séries que estão mais próximas dentro do espaço geográfico analisado.

Através dos resultados descritos acima, pode-se confirmar a utilidade do uso das redes como método para análise de séries temporais em aplicações reais. A metodologia utilizada se mostrou capaz de apontar a dependência espaço-temporal entre essas séries, como em [2].

## Agradecimentos

V.L.S.F. e I.S.D. agradecem à Universidade Federal de Ouro Preto.

## Referências

- [1] Freitas, V. L.S., Lacerda, J. C., Macau, E. EN. Complex networks approach for dynamical characterization of nonlinear systems, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 29, 2019. DOI:10.1142/S0218127419501888
- [2] Jorge, A. A. S., Costa, I. C., Santos, L. B. L. Geographical Complex Networks applied to describe meteorological data, *Proceedings XXI GEOINFO*, volume 21, 2020.
- [3] Lacasa, L., Luque, B., Ballesteros, F., Luque, J. e Nuño, J. C. From time series to complex networks: The visibility graph, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105:4972–4975, 2008. DOI:10.1073/pnas.0709247105.
- [4] Santos, L. B. L., Jorge, A. A. S., Rossato, M., Santos, J. D., Candido, O. A., Seron, W. e Santana, C. N. (Geo) graphs-complex networks as a shapefile of nodes and a shapefile of edges for different applications, *arXiv:1711.05879*, 2017.