



Redes complexas de correlação espaço-temporal da pluviometria do semi-árido nordestino.

Charles N. de Santana, José G. V. Miranda, Roberto F. S. Andrade UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Brasil

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This work uses the theory of complex networks to analyze the dynamics of rainfall in Northeast Brazil.

Using time sequence records of 201 rainfall stations in Northeast Brazil, we generate a set of networks representing the relationships among them.

By characterizing the growth of these networks we have important information about the topology of the network of meteorological stations and relationships among them in different seasons.

We describe the developed methodology together with preliminary results. Possible associations of our results with those of other branches science are indicated.

Introdução

Desenvolvemos uma ferramenta para análise da dinâmica da precipitação no semi-árido baiano baseada nos conceitos da Teoria de Redes Complexas.

Este trabalho é baseado em um estudo sobre a evolução temporal de abalos sísmicos na Califórnia utilizando os conceitos da Teoria Redes Complexas [ABE, 2004].

Utilizando uma sequência temporal de dados de 201 estações pluviométricas distribuídas ao longo do território da Bahia, construímos redes complexas representativas dos relacionamentos entre essas estações.

Analisamos essas redes usando uma série de conceitos e procedimentos desenvolvidos recentemente. Com isso obtivemos informações sobre a topologia da rede de conexões de estações pluviométricas no Estado; sobre as relações entre o fenômeno da chuva de diferentes regiões da área estudada; sobre as relações entre o fenômeno da chuva de diferentes estações do ano; sobre a dinâmica de propagação das chuvas na região.

Neste trabalho, descrevemos a metodologia utilizada, detalharemos os resultados obtidos e prováveis associações com conclusões oriundas de outros

métodos de análise do fenômeno da pluviometria do semi-árido.

Metodologia

Nosso estudo é baseado em séries históricas de precipitações pluviométricas registradas em mais de 200 estações meteorológicas distribuídas no território da Bahia. As informações foram obtidas com a ANA (Agência Nacional de Águas) e datam desde 1911 até 2002, contudo com alguns períodos esparsos.

A fim de utilizar dados consistentes na construção das redes, selecionamos o período com a maior quantidade de informações de pluviometria, chamado "período ótimo", através da análise de um histograma que mostra a quantidade de estações com dados pluviométricos em cada intervalo do período total analisado (FIGURA 1). Esse período corresponde ao intervalo entre julho de 1994 e junho de 1996.

Nossas redes são construídas para os dados desse "período ótimo". Na sua construção, não consideramos os dados de precipitação de cada dia X isoladamente, mas os dados de um período que chamamos "janela temporal". Definimos um raio temporal T que representa a quantidade de dias antes e depois de X que formarão essa "janela temporal". Assim, para construirmos a rede representativa da precipitação de um dia X , analisamos o intervalo entre o dia $(X-T)$ e o dia $(X+T)$. Variamos o valor do raio temporal T entre 1 e 10, a fim de estudarmos as variações nas diferentes redes construídas.

O critério utilizado para construção das redes é o seguinte: Consideramos que toda estação onde houve chuva durante a "janela temporal" analisada é um vértice de nossa rede. Relacionamos duas estações onde houve chuva num mesmo período segundo a distância entre elas, que deve ser no máximo de uma distância $D=150$ Km, raio característico da correlação espacial das chuvas no semi-árido [ANDRADE, 2002]. Na rede, representamos essa relação entre duas estações criando arestas ligando os vértices que as representam (FIGURA 2).

O procedimento é repetido para períodos subsequentes, isto é, variando X , mantendo-se T constante. A dinâmica de crescimento cumulativo da rede, bem como sua topologia, são analisadas mediante a determinação de índices de caracterização: número de vértices, caminho mínimo médio, diâmetro, grau médio, coeficiente de aglomeração [BARABÁSI, 2002].

O número de vértices de uma rede de estações pluviométricas significa o número de estações onde houve chuva no período utilizado para a construção dessa rede.

O caminho mínimo de um vértice de uma rede estações pluviométricas significa qual a distância (número de arestas) mínima a ser percorrida para chegar desse vértice a qualquer outro vértice da rede. Fazendo a média dos caminhos mínimos de todos os vértices da rede é obtido o caminho mínimo médio da rede.

O maior caminho mínimo médio de uma rede é chamado de diâmetro. O diâmetro a distância máxima a ser percorrida para chegar de qualquer vértice a qualquer outro vértice da rede.

O grau médio de uma rede de estações pluviométricas significa o número médio de relações (arestas) de cada estação que compõe essa rede.

Se uma rede tem todos os vértices ligados a todos os outros vértices, dizemos que essa rede é completa e cada um dos seus N vértices tem grau $N-1$.

Chamamos de coeficiente de aglomeração de uma rede à razão entre o número de arestas necessárias para que a rede seja completa e o número real de arestas que essa rede possui. Portanto, coeficiente de aglomeração médio de uma rede é o quanto uma rede é completa.

Resultados

Analisamos estatisticamente as redes geradas e obtivemos informações características das chuvas no período estudado.

Resultados foram obtidos para X variando no intervalo de 2 anos. Eles mostram claras diferenças no comportamento dos índices para diferentes estações do ano.

Nas Figuras 3 a 7 mostramos as distribuições estatísticas dos índices já enunciados para sua dependência sazonal.

Redes com grande número de vértices demonstram ser mais comuns durante o Outono e o Verão do que no Inverno e na Primavera (FIGURA 3).

O grau médio das redes das chuvas do Inverno demonstra ser menor que das redes de chuvas das outras estações do (FIGURA 4).

As redes das chuvas de Outono têm maior diâmetro que as redes das chuvas de outras estações. Entretanto, o diâmetro mais comum das redes das chuvas do Outono é próximo ao diâmetro mais comum das redes das chuvas das outras estações do ano (FIGURA 5).

O coeficiente de aglomeração médio demonstra ser maior nas redes de chuva do Outono do que nas redes de chuvas das outras estações do ano (FIGURA 6).

Redes com valores altos de caminho mínimo médio demonstram ser mais comuns durante o Outono do que nas outras estações do ano (FIGURA 7).

Conclusões

Conhecendo os conceitos de cada índice de caracterização de redes complexas é possível concluir sobre as características do fenômeno estudado a partir da análise das redes.

Por exemplo, o grande número de vértices nas redes das chuvas de Outono em relação às outras estações do ano nos indica que houve um índice de chuva maior no Outono que nas outras estações do período analisado.

Os diferentes valores dos índices de caracterização de redes complexas encontrados para diferentes estações do ano indicam que a Teoria de Redes Complexas pode ser usada como ferramenta para análise de pluviometria.

Agradecimentos

Agradecemos ao suporte financeiro do CNPq através do programa PIBIC/UFBA e do Grupo de Pesquisa em Física Estatística e Sistemas Complexos (FESC) da Universidade Federal da Bahia a esse projeto.

Referências

ABE, Sumiyoshi, e **SUZUKI**, Norikazu. *Scale-free network of earthquakes*. **Europhysics Letters**, **65** (4), pp. 581-586, 2004.

BARABÁSI, Albert-László, e **ALBERT**, Réka. *Statistical mechanics of complex networks*. **Reviews of Modern Physics**, vol **74**, 2002.

MIRANDA, José Garcia Vivas; **ANDRADE**, Roberto Fernandes Silva; **SILVA**, Aderval Barros da; **FERREIRA**, Cristiane da Silva; **GONZÁLEZ**, Antonio Paz; **LÓPEZ**, José L Carrera. *Temporal and spatial persistence in rainfall records from Northeast Brazil and Galicia (Spain)*. **Theory & Application Climatology**, vol. **77**, n. 1-2, p. 113-121, 2004.

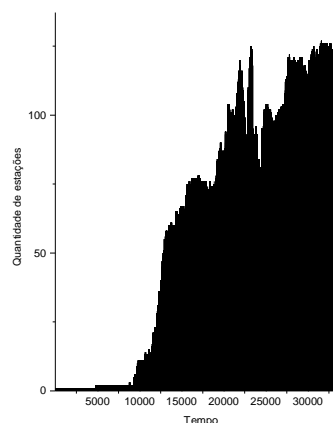


Figura 1 – Quantidade de estações com dados no período.

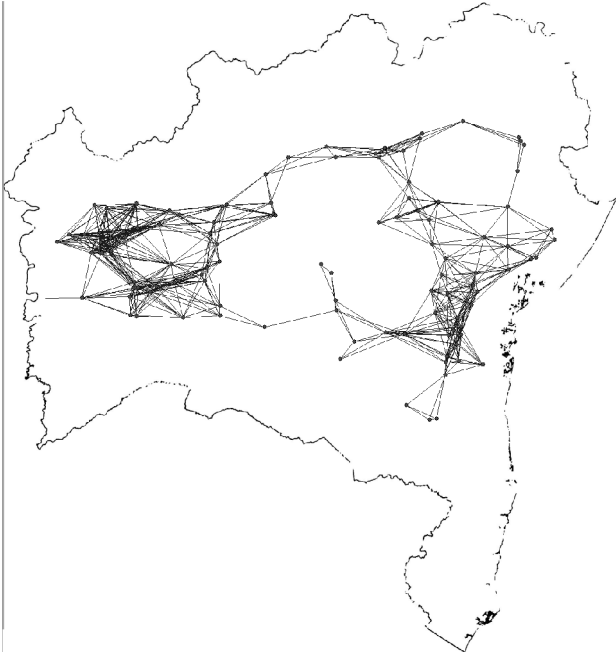


Figura 2 – Exemplo de uma rede representativa da chuva do semi-árido

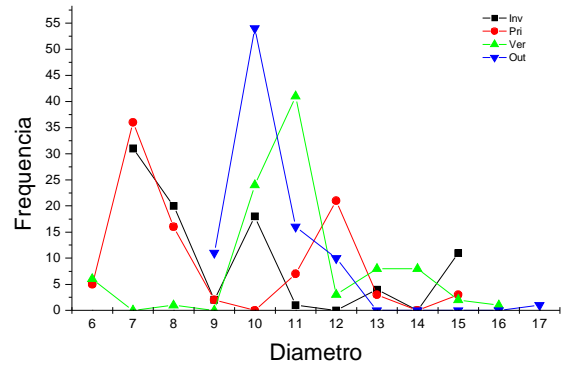


Figura 5 – Distribuição do diâmetro das redes por estação do ano

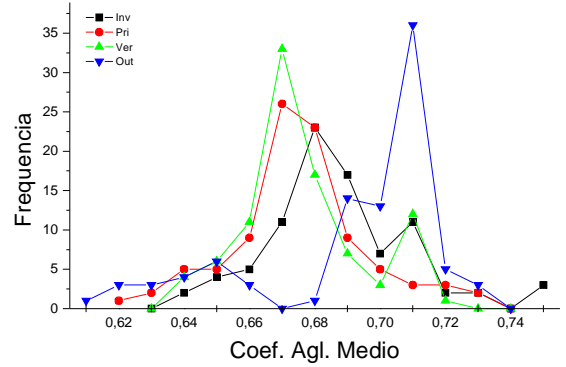


Figura 6 – Distribuição do coeficiente de aglomeração médio das redes por estação do ano

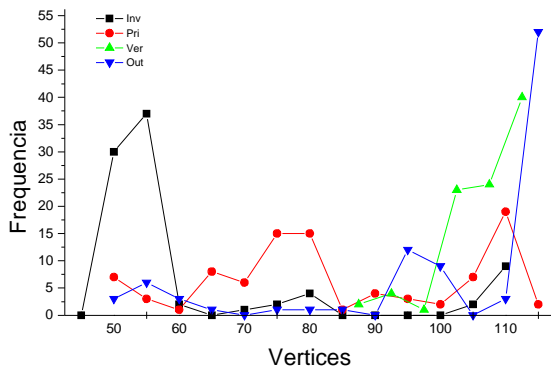


Figura 3 - Distribuição do número de vértices por estação do ano

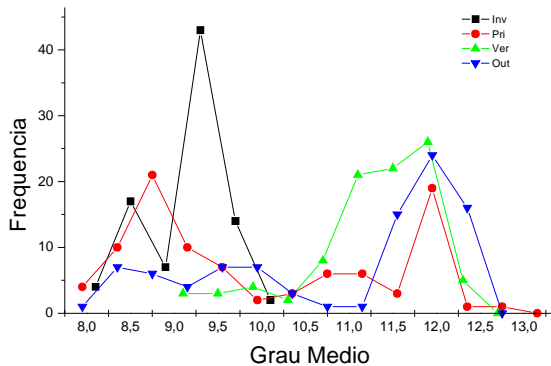


Figura 4 – Distribuição do grau médio das redes por estação do ano

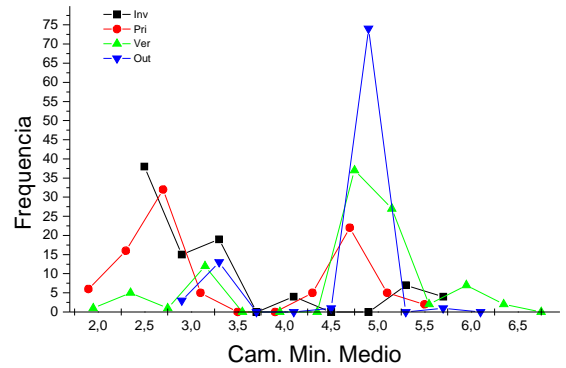


Figura 7 – Distribuição do caminho mínimo médio das redes por estação do ano