

Caracterização por Ondeletas de Processos Físicos Não-Lineares na Micro-Bacia Amazônica

¹Barbosa, E.B.M., ²Rosa, R.R., ²Vijaykumar, N.L., ³Bolzan, M.J.A., ¹Tomasella, J.

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Rod. Presidente Dutra, km. 39 – 12630-000, Cachoeira Paulista, SP
E-mail: eduardo@cptec.inpe.br, javier@cptec.inpe.br

²Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Av. dos Astronautas, 1758 – 12227-010, São José dos Campos, SP
E-mail: reinaldo@lac.inpe.br, vijay@lac.inpe.br

³Laboratório de Física Solar e Atmosférica
Universidade do Vale do Paraíba – Campus Urbanova
Av. Shishima Hifumi, 2911 – 12244-000, São José dos Campos, SP
E-mail: bolzan@univap.br

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da observação e simulação de processos e regimes não-lineares na natureza é registrada a partir de séries temporais (ST). Recentemente, novas técnicas, em comparação com a análise estatística clássica de sinais, têm sido desenvolvidas e introduzidas na literatura com a finalidade de fornecer ferramentas para a caracterização de regimes não-lineares, possivelmente, associados à natureza da variabilidade complexa observada.

Um exemplo clássico de dados que apresentam variabilidade complexa são aqueles relacionados à observação de variáveis atmosféricas e do meio ambiente (velocidade de vento, temperatura em camadas limite, crescimento de biomassa, etc). Em geral, a análise destes tipos de dados exige abordagens robustas da matemática, com a finalidade de compreender os processos físicos que atuam no sistema subjacente. Nos últimos, pode-se observar que a utilização de novas técnicas estatísticas computacionais tem introduzido novos paradigmas à teoria da análise de ST com variabilidade complexa.

A teoria de ondeletas é relativamente nova e tem sido continuamente desenvolvida nos últimos anos [6]. A transformada em ondeletas pode ser aplicada na análise de ST obtidas a partir de qualquer sistema físico. Basicamente, a idéia central da análise de ondeletas, no contexto de análises de sinais, consiste em decompor uma ST em diferentes níveis de resolução tempo-frequência e, então, determinar as componentes de variabilidade dominantes.

O presente trabalho tem por objetivo a aplicação de técnicas da transformada em ondeletas na análise tempo-frequência de duas ST de precipitação, observadas a partir de pluviômetros instalados em uma micro-bacia experimental na região amazônica.

2. DADOS E METODOLOGIA

Na Reserva Biológica do Rio Cuieiras, pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), foi instalada uma rede de instrumentos hidrometeorológicos, financiada pelos projetos *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (LBA) *Ecocarbon* e *Carboncycle*. O objetivo destes instrumentos é realizar o monitoramento de uma micro-bacia hidrográfica experimental, cuja área corresponde a aproximadamente 6.37 km² (Figura 1).

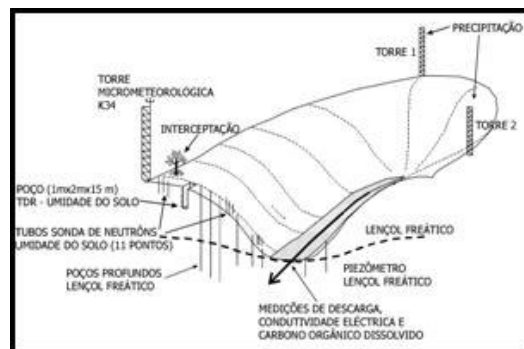


Figura 1 – Diagrama esquemático da micro-bacia hidrográfica (Adaptado de Tomasella e Nobre, 2004)

Esta micro-bacia hidrográfica possui um estudo detalhado da dinâmica de transferência e armazenamento de água em variados compartimentos como, por exemplo, (i) precipitação, (ii) molhamento e evaporação promovidos pelo dossel da floresta, (iii) água que escorre pelos galhos e troncos, (iv) água infiltrada no solo e (v) drenagem no igarapé [4].

Os dados de precipitação são registrados com frequência de 5 minutos desde julho de 2002, a partir de três pluviômetros instalados em pontos estratégicos ao redor da micro-bacia hidrográfica. Dois desses, estão localizados em torres de 12 e 24 metros acima do dossel da floresta (Figura 1), com a finalidade de evitar distorções do vento nas medidas de precipitação [4].

Os conjuntos de dados utilizados durante a realização deste trabalho correspondem à precipitação observada com resolução de 30 minutos (Figuras 2 e 3), obtidos a partir dos pluviômetros instalados nas torres de 12 e 24 metros, entre os meses de janeiro e dezembro de 2004.

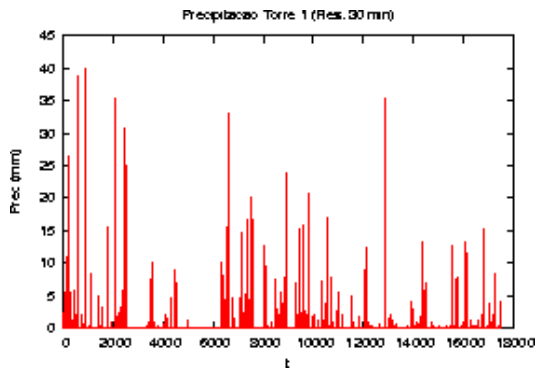


Figura 2 – Precipitação observada (30 min.) entre os meses de janeiro e dezembro de 2004 (Torre 1)

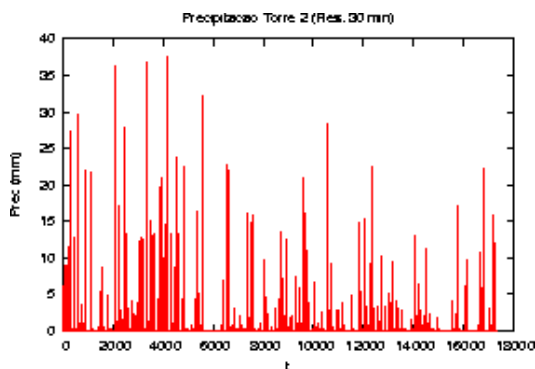


Figura 3 – Precipitação observada (30 min.) entre os meses de janeiro e dezembro de 2004 (Torre 2)

A transformada em ondeletas foi aplicada nos dados selecionados com o auxílio de um conjunto de programas fornecido pelo pacote de *softwares Wavelab*, desenvolvido em ambiente de programação Matlab. Para sua utilização foram necessárias adaptações nos programas com a finalidade de ajustar a leitura, bem como, a resolução temporal dos conjuntos de dados. A ondeleta mãe considerada pelo *Wavelab* corresponde a de Morlet (1) [3] que, em geral, é utilizada na análise de ST onde suavidade e variações contínuas na amplitude são esperadas [5].

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} \left(e^{i\tilde{\omega}t} - e^{-\tilde{\omega}^2 t^2} \right) e^{-t^2/12} \quad (1)$$

A partir dos programas do pacote de *softwares* foi possível, também, a obtenção do espectro de ondeletas global (*global wavelet spectrum*) a partir do cálculo das variâncias em cada período da série,

com o objetivo de identificar quais os períodos associados à maior energia [1].

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados da aplicação da transformada em ondeletas nos conjuntos de dados. As análises foram realizadas nos periodogramas, visando conhecer as relações existentes entre as componentes de diferentes frequências em função da escala temporal do sinal, e nos gráficos do espectro de ondeletas global (GWS), com a finalidade de identificar os períodos com maior concentração de energia nas séries.

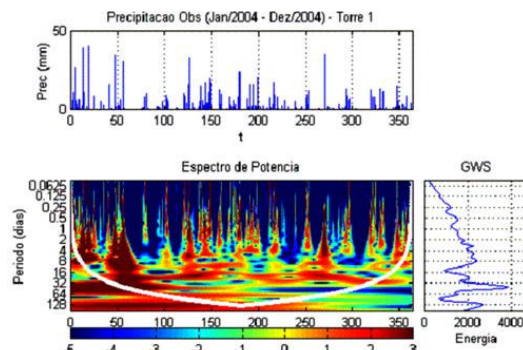


Figura 4 – Série temporal (acima), periodograma (abaixo) e GWS (direita) obtidos para os dados da Torre 1

A partir da Figura 4, são apresentados os resultados obtidos para o conjunto de dados da torre 1. O gráfico acima representa a ST da precipitação durante o ano de 2004. O gráfico abaixo representa o periodograma obtido a partir da transformada em ondeletas onde, o eixo x é a escala temporal, em anos, e o eixo y são os períodos presentes na série. A linha branca contínua no periodograma é chamada cone de influência e os períodos fora deste cone devem ser negligenciados por não possuírem confiança estatística. A barra de cores abaixo do gráfico representa a energia associada a cada período da série. O gráfico à direita representa o GWS.

A partir das análises, pode-se identificar precipitação intensa em escalas que variam de algumas horas até de 8 dias, principalmente, entre os meses de janeiro e maio. Observou-se também, a partir do gráfico de GWS, um sinal persistente representando precipitações, em escalas de 15 e 30 dias, durante os meses de verão, período de forte atividade convectiva na região. Estes valores podem estar associados com a penetração de sistemas frontais da região sul, interagindo e organizando a convecção local [2]. A precipitação torna-se menos intensa entre os meses de abril e outubro, que representam a transição entre as estações chuvosa e seca (sem grande atividade convectiva).

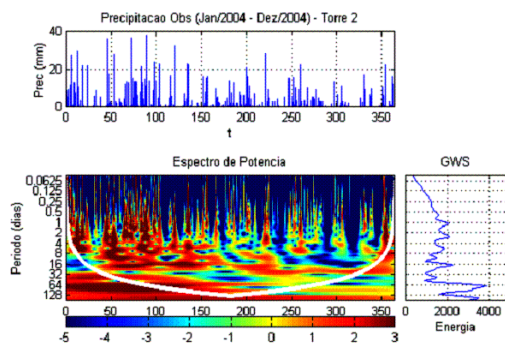


Figura 5 – Série temporal (acima), periodograma (abaixo) e GWS (direita) obtidos para os dados da Torre 2

A Figura 5 representa os resultados obtidos para o conjunto de dados da torre 2. A partir das análises, podem-se identificar algumas características semelhantes àquelas do conjunto de dados da torre 1. Ou seja, durante a estação chuvosa, observa-se que a precipitação varia de algumas horas até aproximadamente 4 dias. A partir do gráfico de GWS, observa-se um sinal persistente de precipitação, em escalas de 15 e 60 dias entre janeiro e abril. Na estação seca, entre os meses de maio e setembro, observam-se os valores menos intensos. A precipitação torna a intensificar-se a partir da primavera.

4. CONCLUSÕES

A convecção na região Amazônica é um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical e suas variações, em termos de intensidade e posição, possui um papel importante na determinação do tempo e clima da região [2]. A partir de análises de ondeletas dos conjuntos de dados selecionados, foi possível identificar algumas características tempo-freqüência da precipitação na região da micro-bacia hidrográfica do Rio Cuieiras.

Os periodogramas e espectros obtidos revelam variabilidades típicas de grande intensidade (superior a 50% do nível da variância sinal) compreendendo uma distribuição não-linear em freqüência para variabilidades com duração desde escalas de horas até, aproximadamente, de uma semana, registradas durante os meses de verão. As estações de outono e inverno são caracterizadas nos dados a partir de precipitações, também não-lineares em tempo-freqüência, de baixa intensidade. Este comportamento está de acordo com o ciclo anual da atividade convectiva na região, isto é, forte atividade convectiva entre novembro e março, período de seca entre maio e setembro, e transição entre um regime e outro nos meses de abril e outubro, conforme demonstrado por Horel et al. (1989) [2].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bolzan, M.J.A. **ANÁLISE DA TRANSFORMADA EM ONDELETAS APLICADA O SINAL GEOFÍSICO.** Revista Brasileira de Ensino em Física, v.26, n.1, 37-41 pp., 2004.
- [2] Fish, G., Marengo, J.A., Nobre, C.A. **CLIMA DA AMAZÔNIA.** Climanálise Especial, Boletim de Monitoramento e Análise Climática, 1990.
- [3] Horel, J.D., Hahmann, A.N., Geisler, J.E. **AN INVESTIGATION OF THE ANNUAL CYCLE OF CONVECTIVE ACTIVITY OVER THE TROPICAL AMERICAS.** Journal of Climate, v.11, n.2, 1388-1403 pp., 1989.
- [3] Morlet, J. **SAMPLING THEORY AND WAVE PROPAGATION.** NATO ASI Series, Issues in Acoustic Signal/Image Processing and Recognition, n.1, 233-261 pp., 1983.
- [4] Tomasella, J., Nobre, C.A. **UM ESTUDO DE MODELAGEM SOBRE O PAPEL DA UMIDADE DO SOLO NA MELHORIA DA PREVISÃO DE TEMPO E DE CLIMA PARA A AMÉRICA DO SUL.** Relatório do Projeto CT-Hidro, 2004, contrato no. 2301,0704/00.
- [5] Torrence, C., Compo, G.P. **A PRACTICAL GUIDE TO WAVELET ANALYSIS.** Bulletin of The American Meteorological Society, v.79, n.1, 61-78 pp., 1998.
- [6] Zanandrea, A., Da Costa, J.M., Dutra, S.L.G., Rosa, R.R., Saotome, O. **SPECTRAL AND POLARIZATION ANALYSIS OF GEOMAGNETIC PULSATIONS DATA USING A MULTITAPER METHOD** Computers & Geosciences, v.8, n.30, 797-808 pp., 2004.