

ANÁLISE DA INTERMITÊNCIA NO SUBDOMÍNIO INERCIAL DA TURBULÊNCIA DESENVOLVIDA ACIMA DO PANTANAL MATO-GROSSENSE (EXPERIMENTO IPE-2)

LEONARDO DEANE DE ABREU SÁ, MAURÍCIO JOSÉ ALVES BOLZAN

Laboratório Associado de Meteorologia e Oceanografia - LMO

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

FERNANDO MANUEL RAMOS, CAMILO RODRIGUES NETO, REINALDO ROBERTO ROSA

Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada - LAC

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Av. dos Astronautas, 1758, Jd. da Granja, CEP 12227-010, São José dos Campos - SP, Brasil

AMAURY DE SOUZA

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Departamento de Física-CCET

Cidade Universitária-C.P. 649, CEP 79.069-900, Campo Grande, MS

RESUMO

Foi utilizado um modelo estatístico para estudar a distribuição dos incrementos de velocidade do vento medidos na camada limite superficial na região do Pantanal, em uma torre micrometeorológica durante a campanha experimental IPE-2 (Experimento Integrado do Pantanal), na estação seca. Os dados foram medidos com um anemômetro sônico colocado a uma altura de 24 metros, a uma taxa de amostragem de 60 Hz. A meta deste trabalho é determinar as características estatísticas de ambos os sinais, original e filtrado. Para filtrar os dados, é aplicado um método baseado na transformada em ondeletas para separar sinais turbulentos em duas partes: "intermitente" e "residual". Então, para analisar os dados, foram calculadas as funções densidade de probabilidade (PDFs) para diferenças de velocidade do vento $v_f(x) = v(x) - v(x+r)$ obtidas para diferentes incrementos r . A comparação entre os sinais original e filtrado mostra distintas características estatísticas entre eles. A parte residual do sinal concorda bem com o modelo proposto por Ramos, baseado na Termoestatística Generalizada (TEG) de Tsallis. Nesta, a curtose está muito próxima do valor de 3, previsto para a Gaussianidade. Mas isto não é verdade para a parte contendo a intermitência da turbulência. Nesta, as PDFs baseadas no modelo TEG não concordam com os resultados experimentais, e a curtose afasta-se muito do valor previsto para a Gaussianidade. Isto, possivelmente, se deve ao fato de modelos tais como o Gaussiano e o TEG não serem definidos para modelar a parte intermitente separada do sinal como um todo.

Palavras-Chave: Ondeletas, Pantanal, Turbulência, Entropia de Tsallis, Intermitência, Estruturas Coerentes, Função Densidade de Probabilidade

ABSTRACT: INTERMITTENT INERCIAL SUBRANGE ANALYSIS OF THE TURBULENCE IN THE PANTANAL

We used a statistical model to study the distribution of increments of wind velocity data measured in the Pantanal atmospheric surface layer, during the IPE-2 (Integrated Pantanal Experiment) dry season campaign. The data were measured by a 3D Campbell sonic anemometer located at a height of 24 m, at a sampling rate of 60 Hz. The goal of this investigation is to determine the statistical characteristics in both signals, original and filtered ones. To filter the data, we apply a method based on the Wavelet Transform to separate fast response turbulent signals in two parts: intermittent and background ones. So, to analyze the data, we calculate the probability density function (PDF) for wind velocity differences $v_f(x) = v(x) - v(x+r)$ at different increments, r . Some preliminary results show different statistical characteristics for the original and for the "intermittent" and "noisy" parts of the signal. We show that the residual part of the signals agrees well with the model proposed by Ramos based on the Generalized Entropy Theory (GET) of Tsallis and presents a kurtosis value close to 3, as expected for Gaussian

signals. In contrast, the "intermittent" part does not agree with GET model and presents a kurtosis value far from 3. This is probably due to the fact that models such as Gaussian and GET are not defined to model intermittent parts of the signal separated from the whole.

Key-words: Wavelet Transform, Pantanal, Turbulence, Tsallis' Entropy, Intermittency, Coherent Structures, Probability Density Function

INTRODUÇÃO

A turbulência desenvolvida é aquela verificada em escoamentos que apresentam elevados números de Reynolds. Nestes, o espectro turbulento projetado em gráfico log-log mostra uma região linear apresentando declividade de $-5/3$. Kolmogorov foi um dos primeiros a formular hipóteses plausíveis para explicar as características estatísticas do espectro nesta região, e seus trabalhos se concentraram em duas abordagens gerais que convencionalmente são referidas como sendo as Teorias K-41 e K-62 (Frisch, 1995). Pela Teoria K-41, o escoamento é considerado estacionário, e a taxa de dissipação de energia cinética turbulenta por unidade de massa, ϵ , é considerada constante. Pela Teoria K-62, admite-se que ϵ possua distribuição lognormal e leva-se em conta o caráter intermitente do escoamento na pequena escala (Kolmogorov, 1962). A existência da intermitência e a influência que ela exerce na estatística das flutuações turbulentas ainda constituem temas controversos, razão pela qual muita pesquisa tem sido efetuada no sentido de definir as características da turbulência nas pequenas escalas do escoamento (Lumley, 1992; Nelkin, 1992; Frisch, 1995; Sreenivasan e Antonia, 1997). Uma das abordagens estatísticas utilizadas para este fim é a de investigar as distribuições de incrementos das grandezas turbulentas no subdomínio inercial através da análise das funções densidade de probabilidade (PDFs) das mesmas.

Em muitos dos estudos sobre distribuição das flutuações turbulentas, as PDFs são calculadas através da estatística das diferenças de velocidades para diversos incrementos, r (separação espacial entre duas medidas sucessivas).

Neste trabalho, foi utilizada uma metodologia baseada em Katul et al. (1994), segundo a qual são separadas duas partes qualitativamente diferentes do sinal segundo seu grau de intermitência: (a) partes ativas do sinal, onde este concentra a maior parte da intermitência; (b) partes residuais, onde o sinal apresenta uma turbulência com flutuações de pouca intensidade. Isto é realizado aplicando-se conjuntamente as técnicas da transformada em ondeletas (Daubechies, 1992; Abry, 1997) e da

amostragem condicional aos dados turbulentos (Khalsa, 1980; Yuan e Makhtarzadeh-Dehghan, 1994). Uma vez gerados os sinais derivados, foram realizadas análises de PDFs de diferenças entre grandezas turbulentas separadas por uma distância r , tanto para os sinais filtrados como para o original. O estudo foi baseado na Termoestatística Generalizada (TEG) de Tsallis (1988) e no modelo desenvolvido por Ramos et al. (1999).

TEORIA

Embora esteja implícito na teoria K41 que os momentos estatísticos de terceira e quarta ordens são constantes, independentes do número de Reynolds, na prática, isto tem sido contestado por trabalhos como os de Antonia et al. (1981), Bradley et al. (1985), dentre outros, os quais mostraram que isso parece não ocorrer em determinadas situações. Segundo Sreenivasan e Antonia (1997), a razão desta discordância seria a forte variabilidade da taxa de dissipação de energia cinética turbulenta por unidade de massa ϵ , ou seja, a intermitência. Uma maneira de se estudar as características da intermitência na turbulência desenvolvida é através da análise das distribuições dos incrementos de velocidade (ou outras grandezas) no subdomínio inercial da turbulência desenvolvida. Assim, diversos autores como Kraichnan (1974), Castaing et al. (1990), Sreenivasan e Antonia (1997), dentre outros, notaram que as PDFs dos incrementos de velocidade no subdomínio inercial mudam continuamente com a escala r . Esta questão das PDFs mudarem de comportamento com a escala r é de grande relevância para a caracterização da turbulência, porque as PDFs são muitas vezes consideradas como Gaussianas para as flutuações de velocidade, o que parece particularmente satisfatório no caso da turbulência homogênea, como indica a teoria K41 (Heinz e Schaller, 1996). Para o caso da Camada Limite Superficial atmosférica (CLS), as PDFs Gaussianas associadas às flutuações de velocidade ocorrem com frequência sob condições neutras, nas escalas maiores do escoamento (Du et al., 1994). Muitos trabalhos tentaram explicar os desvios da gaussianidade nas escalas menores. Dentre as hipóteses formuladas

para explicar este comportamento, podem-se citar: a influência do transporte espacial da energia cinética turbulenta (Heinz e Schaller, 1996); a influência de fenômenos associados às chamadas “estruturas coerentes” (Robinson, 1991) com suas “fases” de intrusão e ejeção próximo a superfícies rígidas (Baerentsen e Berkowics, 1984), e a própria intermitência (Frisch, 1995). Na realidade, o fato de não ocorrer gaussianidade deve ter origem física, provavelmente associada à especificidade do processo de dissipação (West, 1987; Kevlahan e Vassilicos, 1994).

A transformada em ondeletas (TO) constitui instrumento matemático através do qual é possível projetar o sinal em diversas escalas (Daubechies, 1992; Abry, 1997). Matematicamente, a TO de um sinal $f(t)$ quadraticamente integrável (energia finita) é definida como (Farge, 1992):

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt$$

em que a representa um parâmetro de “dilatação” ou de “escala”, b representa um parâmetro de “translação no tempo” e ψ é constituída uma “função ondeleta”. Com base em característica de ortonormalidade da transformada em ondeletas discreta, Turner e Leclerc (1994), Katul et al. (1994) e Benzi et al. (1999) puderam identificar estruturas coerentes no subdomínio inercial da turbulência desenvolvida e, assim, estudar o seu papel no problema da geração de intermitência na pequena escala do escoamento turbulento. Katul et al. (1994) utilizaram a transformada em ondeletas de Haar (útil para situações em que há variações abruptas nos sinais) para decompor o sinal em escala e aplicaram uma função indicadora para separar o sinal intermitente do sinal de fundo. Esta função indicadora constitui um critério dependente da definição de um valor limiar e baseia-se na comparação entre a energia de cada coeficiente da ondeleta em uma dada escala e a energia média total de todos os coeficientes nesta escala.

Neste trabalho, embora se utilize basicamente a metodologia de Katul et al. (1994) e também se aplique a transformada em ondeleta de Haar aos dados, foi empregado o procedimento de detecção mais simples proposto por Hagelberg e Gamage (1994) para decompor o sinal por escala e para identificar e separar os fenômenos coerentes. Segundo tal procedimento, cada coeficiente da TO, em uma dada escala que apresenta

energia (variância) igual ou superior a 20% do valor da energia média total de todos os coeficientes naquela escala, é considerado evento intermitente, enquanto os demais coeficientes da TO são considerados associados a estados residuais. Assim, a partir de um único sinal inicial (original), obtiveram-se dois sinais derivados: um contendo somente fenômenos “intermitentes” e outro “residuais”. Eles serviram para a determinação das PDFs (Ramos et al., 1999, 2001a e b), baseadas na Termostatística Generalizada (TEG), proposta por Tsallis (1988).

Ramos et al. (1999, 2001a e b) basearam-se na teoria TEG e propuseram a seguinte expressão para a PDF dos incrementos de velocidade:

$$p_q(x) = [1 - \beta(1-q)v_r^2]^{1/(1-q)} / Z_q \quad (1)$$

onde $v_r = v(x+r) - v(x)$, q é um parâmetro livre da teoria de Tsallis (1988), x é uma medida no espaço e com

$$Z_q \equiv \left[\frac{\beta(q-1)}{\pi} \right]^{1/2} \frac{\Gamma(1/(q-1))}{\Gamma((3-q)/2(q-1))}$$

sendo b o inverso da temperatura e G é a função gama.

Ramos et al. (1999) mostraram que no contexto da turbulência plenamente desenvolvida, medida em túnel de vento, a equação (1) fornece um modelo simples e preciso para modelar a PDF de v_r . A partir da equação (1), pode-se obter o segundo momento

$$\langle v_r^2 \rangle = \frac{1}{\beta(5-3q)} \quad (2)$$

e a curtose:

$$K_r = \frac{3(5-3q)}{(7-5q)} \quad (3)$$

Segundo Frisch (1995), este parâmetro pode ser considerado como uma “assinatura” da intermitência, e assim, é muito útil para quantificá-la, razão pela qual foi estudado no presente trabalho.

DADOS EXPERIMENTAIS

Os dados experimentais foram obtidos em setembro de 1999, no Pantanal Mato-grossense, durante a estação seca, em uma torre micrometeorológica instalada na Base de Estudos da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul em Corumbá-MS, quando da realização do Experimento IPE-2. As medidas foram efetuadas com instrumentos de resposta rápida a uma altura de 24 m acima da superfície. As medidas do vento foram obtidas com um anemômetro sônico tridimensional CSA-T3 (Campbell Scientific Inc) e as de temperatura, com um termômetro CA27 (Campbell Scientific Inc). Todos os dados utilizados neste estudo foram amostrados a uma frequência de 60 Hz, suficientemente elevada para as pesquisas de PDFs nas escalas pequenas do escoamento. O vento predominante foi de norte durante os dias em que os dados aqui analisados foram coletados.

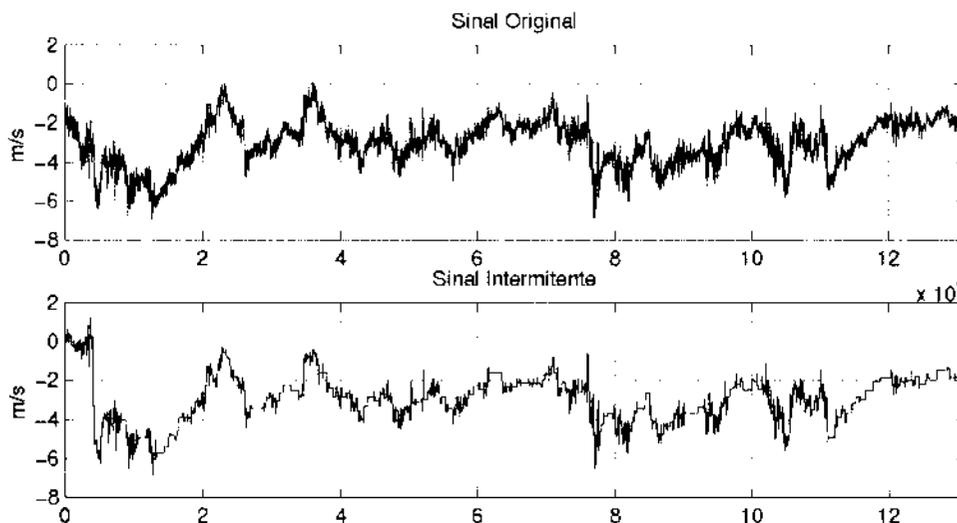
O sítio experimental caracterizou-se pela existência de condições de pista (fetch) bastante peculiares que variam consideravelmente com a mudança de direção do vento dominante. Ao sul da torre, encontram-se um extenso cinturão de mata ciliar e paradisais, distantes aproximadamente 500m daquela. Ao norte e a oeste, a vegetação apresenta arbustos e árvores de médio porte esporádicos, situados em região com extensas áreas de gramíneas. A leste, as gramíneas são predominantes (campos limpos). Foram utilizados dados da componente longitudinal da velocidade do vento, u , correspondentes à projeção dos dados de velocidade na direção do vento médio durante um período de uma hora de duração. Os dados foram obtidos sob condições fortemente convectivas na tarde do dia 22 de setembro

de 1999.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram calculadas as PDFs das diferenças de velocidade longitudinal dos sinais intermitente e residual, $v_r = v(x) - v(x+r)$, entre duas localizações espaciais, x e $x+r$, onde r é dado por $r = \overline{U} \Delta t$ sendo $\Delta t = 0,2; 2,0; 20,0$ e $200,0$ s. Assumiu-se a validade da hipótese de Taylor sobre a turbulência congelada (Gledzer, 1997), para efetuar a conversão do sinal temporal em espacial. Esta hipótese, apesar de algumas vezes contestada (Kaimal et al., 1972; Srenivasan e Antonia, 1997), é possivelmente válida nas escalas correspondentes ao subdomínio inercial da turbulência desenvolvida (Katul et al., 1994).

Foi aplicado o método de separação dos fenômenos intermitentes daqueles do sinal de fundo ao conjunto de dados. O resultado, ou seja, os dois sinais separados, é apresentado na Figura 1. Uma vez realizada esta separação, é possível examinar cada parte do sinal, independentemente. Foi adotado o seguinte procedimento: foram obtidas as PDFs (normalizadas pelas suas respectivas variâncias) e também, a curtose (o momento de quarta ordem) da componente horizontal da velocidade do vento u para o sinal original e suas partes intermitente e residual. Os valores da curtose para os três sinais são mostrados na Tabela 1. A partir das equações (1)-(3), foi determinada a distribuição de Tsallis correspondente a cada um dos incrementos de velocidade Δu mencionados acima.



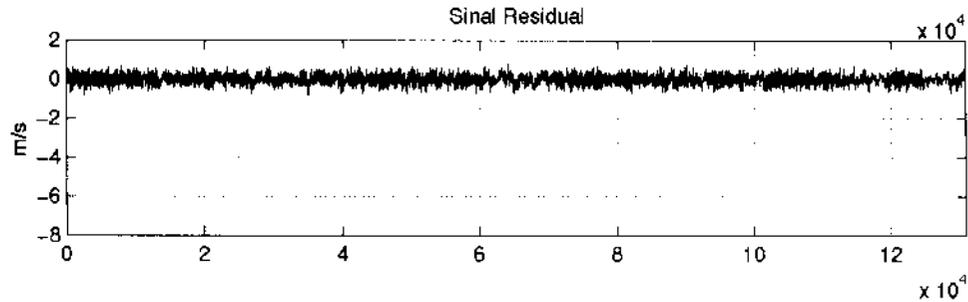


Figura 1: Decomposição de sinal da componente horizontal da velocidade do vento u medido durante o período diurno: sinal original (acima); sinal representando a parte intermitente (no meio); sinal residual (abaixo).

Tabela 1: Valores da curtose obtidos com o mesmo sinal de u apresentado na Fig. 1, calculados para diferentes incrementos temporais Δt

Δt	0,2 s	2,0 s	20,0 s	200,0 s
S. Original	8,1732	5,4531	4,9527	3,2200
S. Residual	4,3848	3,0464	3,1097	2,9884
S. Intermitente	39,6865	14,5203	12,9234	4,5225

Na Figura 2, são apresentadas as PDFs para os resultados experimentais e os do modelo TEG para o sinal original. Observa-se uma boa concordância entre os resultados experimentais e os do modelo, particularmente, para os menores valores de Δt , o que não é verdade para a curva Gaussiana. O ajuste sempre apresenta melhores resultados para valores pequenos de

Δt , ou seja, quando aumenta a resolução no cálculo das diferenças de velocidade. Isto ressalta a importância da realização de medidas a 60 Hz (frequências tão elevadas ainda são raras na literatura micrometeorológica). Constata-se, também, que os ajustes só não são bons para grandes valores de v_r , certamente associados a eventos fortemente intermitentes.

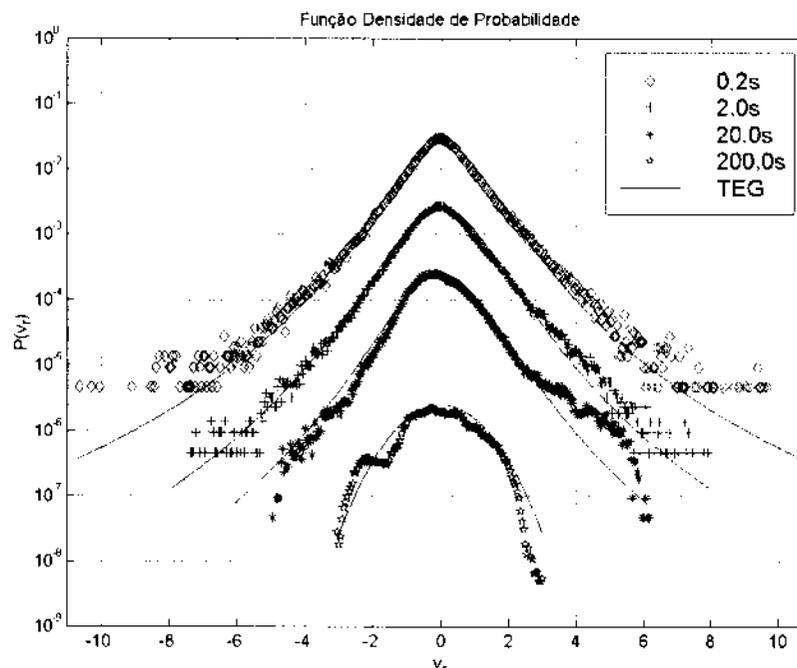


Figura 2: Sinal bruto original de u : PDFs para cada incremento da componente u , com dados medidos durante 60 minutos, sob condições convectivas. Dados experimentais (símbolos) e curvas teóricas (linhas).

Para a parte residual, espera-se que haja uma melhor concordância com relação ao modelo teórico. Isto já foi estudado por Katul et al. (1994), que utilizaram dados amostrados a 21 Hz medidos acima de vegetação e encontraram discrepâncias entre os valores das curtoses previstos pela teoria e os resultantes de seus dados experimentais quando analisaram a parte intermitente dos sinais. Eles pesquisaram a influência de eventos intermitentes contendo energia fortemente localizada em sinais turbulentos e mostraram que estes efeitos podem ser responsáveis pela não-Gaussianidade verificada nas distribuições das variáveis meteorológicas no subdomínio inercial do espectro turbulento.

Na Figura 3, as PDFs baseadas na aplicação do modelo TEG ao sinal residual, livre de fenômenos coerentes obtido no Pantanal, concordaram melhor com os resultados experimentais. Este comportamento é exibido na Figura 3, comparativamente ao sinal original. Também concordam melhor com os dados experimentais do que o modelo K-41. Para tentar explicar fisicamente estes resultados, será necessário compreender os mecanismos que geram a intermitência e que "distorcem"

as distribuições estatísticas. Isto, ao menos em parte, pode ser atribuído à ação de estruturas coerentes no escoamento (Frisch, 1995). Assim, para o sinal residual, como tais estruturas coerentes foram retiradas pela amostragem condicional, espera-se maior concordância com os modelos "clássicos" mencionados por Frisch (1995). No que se refere à parte intermitente, como existem vários padrões de estruturas coerentes (Robinson, 1991), e como sua intensidade depende ao menos indiretamente das condições de estabilidade atmosférica (Sá et al., 1999; Bolzan, 2000), é possível sugerir que dificilmente exista um padrão universal de intermitência, particularmente acima de superfícies complexas. Isto é confirmado pelos resultados mostrados na Figura 4. Nesta, as PDFs baseadas na aplicação do modelo TEG não concordaram com os resultados experimentais para o sinal intermitente. Isto se justifica pelo fato de ambos os modelos, TEG e K-41 (Gaussiano), não serem definidos para modelar a parte intermitente separada do sinal como um todo, daí a grande discordância dos modelos com os dados experimentais.

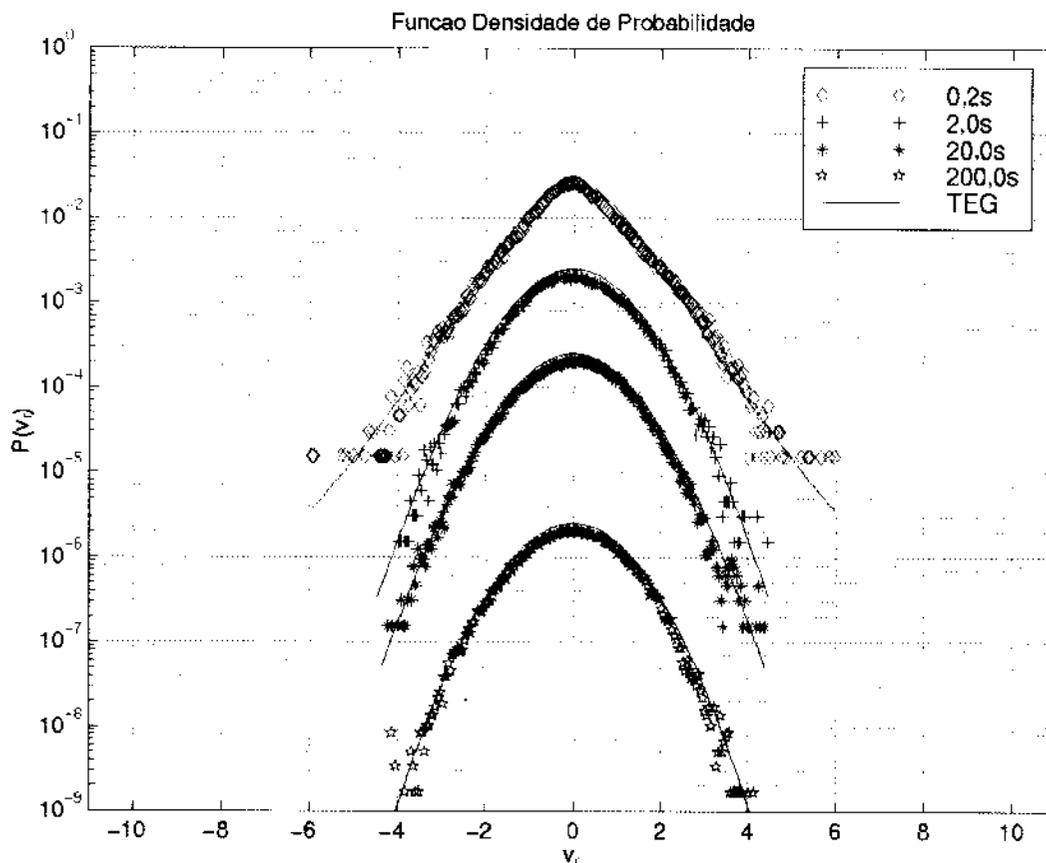


Figura 3: Parte residual do sinal de u : PDFs de diferenças de velocidade, para diversos incrementos r . Os dados experimentais são representados por símbolos, e as curvas teóricas, por linhas.

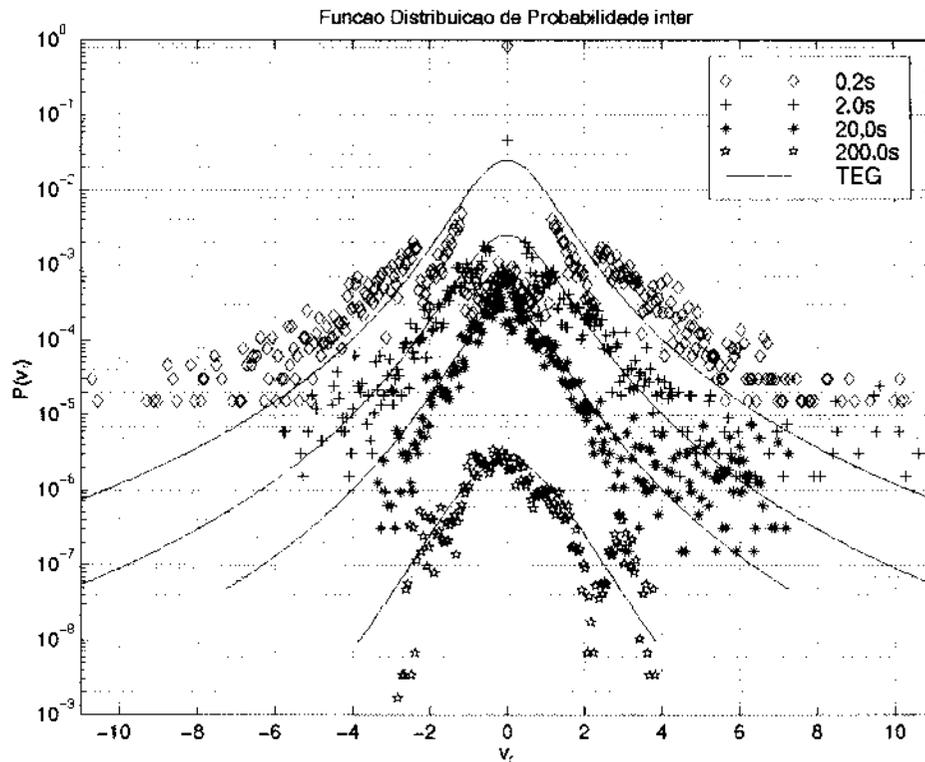


Figura 4: Parte intermitente do sinal de u : PDFs de diferenças de velocidade, para diversos incrementos τ . Os dados experimentais são representados por símbolos, e as curvas teóricas, por linhas.

Outro resultado interessante a mencionar é aquele relacionado à diferença verificada no valor da curtose nas escalas temporais Δt (Tabela 1), tanto para o sinal original como para os sinais intermitente e residual. O valor da curtose do sinal residual está muito próximo daquele previsto para a Gaussianidade, indicando que a presente metodologia de amostragem condicional funcionou muito bem, retirando do sinal original a parte intermitente (curtoses mais elevada). Todavia, estes resultados têm um caráter preliminar, pois resultam da análise de dados de u para um período de 1 hora. Estudos devem ser desenvolvidos no sentido de verificar se estes resultados estão relacionados com as condições de estabilidade e se são válidos para as outras componentes da velocidade do vento. Outro problema a pesquisar é o da eventual influência da ondeleta utilizada nos resultados, uma vez que uma má escolha pode interferir nos resultados da análise (Abry, 1997; Bolzan, 2000).

CONCLUSÕES

No estudo das funções densidade de probabilidade da componente u da velocidade do vento

no subdomínio inercial da turbulência desenvolvida, verificou-se que, para o sinal residual, os resultados das funções de densidade de probabilidade mostraram uma boa concordância com os modelos teóricos, o que não ocorre com a parte intermitente do sinal.

No que se refere ao sinal original, o modelo TEG apresenta boa concordância com os dados experimentais, embora isto seja menos verdadeiro quando ocorrem eventos apresentando grandes variações de velocidade. Isto provavelmente é devido à ação da intermitência no escoamento turbulento, conforme sugerido na análise da parte intermitente do sinal turbulento.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte do Experimento Interdisciplinar do Pantanal (IPE) e foi financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Processo 1998/00105-5, Dr. Antonio Ocimar Manzi, Coordenador), que também proporciona bolsa ao Dr. Reinaldo R. Rosa. Os autores agradecem às autoridades da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul-UFMS, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -

EMBRAPA, Universidade Estadual Paulista - UNESP. Agradecimentos também a Regina Célia dos Santos Alvalá, Carla Muller, Maria Lúcia Meirelles, Maria Paulete Martins Jorge, Jaidete Monteiro de Souza, Rita de Cássia da Silva, Vanusa Bezerra Pacheco, Sabrina Bérgeoch Monteiro Sambatti, Massao Uetanabaro, Hamilton Germano Pavão, Ralf Gielow, Plínio Carlos Alvalá, Paulo Rogério Aquino Arlino, Edson Kassar, Kolavennu Panduranga Vittal Murthy, Romísio Geraldo Bouhid André, Bart Kruijt, Jorge Gonçalves, Waldeir Moreschi Dias, Jorge Melo e Luiz Eduardo Rosa, K. Narayanan Nair, Gannabathula S. S. D. Prasad, Jorge Melo, Marcelo de Paula Correa, Marcelo Silva Araujo, Paulo Yoshio Kubota, Domingos Donizete Sardela e Edmilson D. de Freitas, que participaram da Campanha IPE-1.

Os autores agradecem ao CNPq (bolsa de produtividade em pesquisa do Dr. Fernando M. Ramos) e à CAPES (bolsa do aluno Maurício J. A. Bolzan), pelos auxílios.

Também são gratos à Universidade Federal do Mato Grosso do Sul e a todos os participantes da Campanha IPE-2.

REFERÊNCIAS

- ABRY, P. *Ondelettes et turbulences*, Paris: Diderot-Editeur, 1997. p.252.
- ANTONIA, R. A., CHAMBERS, A. J., BRADLEY, E. F. Temperature structure in the atmospheric surface layer. I. The budget of mean cube fluctuations. *Boundary-Layer Meteorol.* v. 20, n. 3, p. 293-307, 1981.
- BAERENTSEN, J. H., BERKOWICZ, R. Monte Carlo Simulation of Plume Dispersion in the Convective Boundary Layer, *Atmos. Environ.*, v.18, n.4, p.701-12, 1984.
- BENZI, R., BIFERALE, L., RUIZ-CHAVARRIA, G., CILIBERTO, S., TOSCHI, F. Multiscale velocity correlation in turbulence: Experiments, numerical simulations, synthetic signals. *Phys. Fluids*, v. 11, n. 8, p. 2215-24, 1999.
- BOLZAN, M. J. A. *Estudo da Influência das estruturas coerentes e da rugosidade na estimativa de fluxos turbulentos sobre o Pantanal*. São José dos Campos, 2000. 137p.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE-7500-TDI/715.
- BRADLEY, E. F., ANTONIA, R. A., CHAMBERS, A. J. Turbulence Reynolds number and the turbulent kinetic energy balance in the atmospheric surface layer. *Boundary-Layer Meteorol.* v. 21, n. 2, p. 183-97, 1981.
- CASTAING, B. GAGNE, Y., HOPFINGER, E. J. Velocity probability density functions of high Reynolds number turbulence. *Physica D*, v. 46, n. 2, p. 177-200, 1990.
- DAUBECHIES, I. *Ten lectures on wavelets*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics. 1992, p.357.
- DU, S., WILSON, J. D., YEF, E. Probability density functions for velocity in the convective boundary layer, and implied trajectory models. *Atmos. Environ.* v. 28, n. 6, p. 1211-17, 1994.
- FARGE, M. The wavelet transform and its applications to turbulence. *Annu. Rev. Fluid. Mech.* v. 24, p. 395-457, 1992.
- FRISCH, U. *Turbulence*, Cambridge: Cambridge-University-Press, 1995, 296 p.
- GLEDZER, E. On the Taylor hypothesis corrections for measured energy spectra of turbulence, *Physica D*, v. 104, n. 2, p. 163-83, 1997.
- HAGELBERG, C. R. GAMAGE, N. K. K. Applications of structure preserving wavelet decompositions to intermittent turbulence: a case study, In: Foufoula-Georgiou, E., Kumar, P. (Ed). *Wavelets in Geophysics.* , San Diego: Academic Press, 1994. p. 45-80.
- HEINZ, S. SCHALLER, E. On the influence of non-gaussianity on turbulent transport. *Boundary-Layer Meteorol.* v. 81, n. 2, p. 147-66, 1996.
- KAIMAL, J. C., WYNGAARD, J. C., IZUMI, Y., COTÉ, O. R. Spectral Characteristics of surface layer turbulence, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v. 98, n. 417, p. 563-89, 1972.

- KATUL, G. G., PARLANGE, M. B., CHU, C. R. Intermittency, local isotropy, and non-Gaussian statistics in atmospheric surface layer turbulence, **Phys Fluids**, v. 6, n. 7, p. 2480-92, 1994.
- KEVLAHAN, N. K.-R. VASSILICOS, J. C. The space and scale dependencies of the self-similar structure of turbulence. **Proc. R. Soc. of London A**, v. 447, p. 341-63, 1994.
- KHALSA, S. J. S. Surface-Layer intermittency investigated with conditional sampling, **Boundary-Layer Meteorol**, v. 19, n. 2, p. 135-53, 1980.
- KOLMOGOROV, A. N. A refinement of previous hypotheses concerning the local structure of turbulence in a viscous incompressible fluid at high Reynolds number, **J. Fluid. Mech**, v. 13, p. 82-5, 1962.
- KRAICHNAN, R. H. On Kolmogorov's inertial-range theories, **J. Fluid. Mech**, v. 62, part. 2, p.305-30, 1974.
- LUMLEY, J. L. Some Comments on Turbulence, **Phys. Fluids**, v. A4, n. 2, p. 203-11, 1992.
- NELKIN, M. In what sense is turbulence an unsolved problem? **Science**, v. 255, p. 566-9, 1992.
- RAMOS, F. M., RODRIGUES NETO, C.; ROSA, R. R. **Intermittency and non-extensivity in turbulence and financial markets**. Disponível In: (<http://www.lanl.gov/abs/cond-mat/9907348>), Acesso em: 1999.
- RAMOS, F. M., RODRIGUES NETO, C., ROSA, R. R., BOLZAN, M. J. A., ABREU SÁ, L. D. Non-extensive statistics and three-dimensional fully developed turbulence. **Physica A**, v.295, p.250-53, 2001a.
- RAMOS, F. M., RODRIGUES NETO, C., ROSA, R. R., BOLZAN, M. J. A., ABREU SÁ, L. D. Generalized thermostistical description of intermittency and non-extensivity in turbulence and financial markets. Submetido ao **J. Nonl. Anal. A**, v.47, p.3521-30, 2001b.
- ROBINSON, S. K. Coherent motions in the turbulent boundary layer. **Annu. Rev. Fluid. Mech**, v.23, p. 601-39, 1991.
- SÁ, L. D. A., BOLZAN, M. J. A., PRASAD, G. S. S. D, Souza, A. Percentagem do fluxo turbulento associado à ocorrência de estruturas coerentes e sua variação em função da instabilidade atmosférica acima do Pantanal (Estação seca). **Rev. Bras. Meteorol.**, v.14, n.1, p.87-96, 1999.
- SREENIVASAN, K. R., ANTONIA, R. A. The phenomenology of small-scale turbulence. **Annu. Rev. Fluid. Mech**, v.29, p.435-72, 1997.
- TSALLIS, C. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. **J Statis Phys**, v.52, n. 1-2, p. 479-88, 1988.
- TURNER, B. J., LECLERC, M. Y. Conditional sampling of coherent structures in atmospheric turbulence using the Wavelet Transform. **J. Atmos. Oceanic. Technol.**, v. 11, n.1, p. 205-9, 1994.
- VERGASSOLA, M., BENZI, R., BIFERALE, L., PISARENKO, D. Wavelet analysis of a Gaussian Kolmogorov signal. **J. Phys. A: Math. Gen**, v. 26, p. 6093-9, 1993.
- WEST, B. J. Measurement, information and uncertainty. **Math Comput Simul**, v. 29, n. 1-4, p. 169-89, 1987.
- YUAN, Y. M., MOKHTARZADEH-DEGHAN, M. R. A. Comparison study of conditional-sampling methods used to detect coherent structures in turbulent boundary layers. **Phys. Fluids**, v. 6, n. 6, p. 2038-57, 1994.