

FENOMENOS EXTREMOS E SUA RELAÇÃO COM O AUMENTO DOS FLUXOS À SUPERFÍCIE

Bruno Coelho Bulcão ¹

Reynerth Pereira da Costa ²

Francisco Otávio Miranda Farias ³

INTRODUÇÃO

A ocorrência de fenômenos extremos (FE's) com grandes máximos na velocidade do vento tem sido observado em vários sítios experimentais da floresta amazônica, inclusive durante a noite, os quais provavelmente estão associados à presença de downdrafts oriundos de convecção profunda (Farias, 2017). O aprofundamento do conhecimento de tais fenômenos, além de ser importante para a obtenção de representações mais realistas dos fenômenos da atmosfera tropical acima de floresta, também oferece informações valiosas para uma melhor estimativa de fluxos turbulentos, processos químicos envolvidos na interação floresta atmosfera, além de contribuir para melhorar a previsão de fenômenos tais como corrente de densidade, além de outros que ocorrem na camada limite noturna amazônica (Farias, 2017).

Estudam-se aqui as características de um FE e sua assinatura nas séries temporais medidas a 48,15 metros de altura, na torre K34 construída na floresta amazônica. A análise efetivou-se a partir da observação da ocorrência de fenômenos que culminaram com regimes de fortes rajadas de vento (Sun et al., 2012; Dias-Junior et al., 2017. Miranda et al. 2020). Busca-se verificar se é possível ajustar algumas equações que se configuram como soluções de fenômenos amortecidos (Martens, 1984) a uma série temporal experimental de velocidade do vento horizontal suavizada. Parte-se de um caso particular, começando-se com a aplicação de ajustes simples, mas que posteriormente servirão para fornecer “insight” para a escolha de parâmetros mais

¹ Graduando do Curso de Física da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, bcf.fis17@uea.edu.br;

² Mestrando do Curso de Geofísica do Observatório Nacional – ON, reynerthcosta@on.br

³ Professor orientador: Doutor, Universidade do Estado do Amazonas – UEA, ffarias@uea.edu.br

adequados a serem incorporados a uma equação diferencial que represente de modo aproximado o fenômeno em estudo (tendo como base sugestões de Martens, 1984).

Os fenômenos estudados manifestam-se à superfície com fortes quedas de temperatura e aumento na concentração de Ozônio (Betts et al., 2002a; Gerken et al., 2016, Miranda et al. 2020). Sugere-se que os máximos e mínimos da velocidade do vento horizontal observados, correspondam aos máximos e mínimos de uma oscilação sob efeitos de amortecimento subcrítico e que tal amortecimento surge quando há aumento da distância entre a fonte geradora que modula as oscilações com maiores amplitudes (e baixa frequência) da velocidade do vento e a posição em que as medidas são registradas.

METODOLOGIA

Foram utilizadas séries temporais turbulentas das componentes horizontal e vertical da velocidade do vento e temperatura amostrada a 20 Hz com anemômetros 3D (model CSAT3, Campbell Scientific Inc., Logan, UT) à altura de 48.15 metros acima do solo. As medidas foram realizadas na Torre experimental micrometeorológica K34, localizada na reserva do Cuieiras (60 km a norte/noroeste da cidade de Manaus-AM), como parte do projeto internacional GoAmazon 2014/15 (Fuentes et al., 2016).

As metodologias utilizadas foram:

1 – Para os ajustes associados às oscilações amortecidas observadas recorreu-se às soluções das equações diferenciais propostas por Martens (1984) em estudos de astronomia. Nestas, o autor analisa equações que exibem ciclos limite atratores ou repulsores, para valores de uma constante de amortecimento “b” menores ou maiores que zero, cujas respectivas soluções são dadas abaixo.

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= x_0 e^{bt} \cos(t) - y_0 e^{bt} \sin(t) \\ y(t) &= y_0 e^{bt} \cos(t) + x_0 e^{bt} \sin(t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2 – Na proposição de uma solução cujo ajuste seja representativo de um processo sob efeitos de amortecimento subcrítico, propôs-se a solução do tipo:

$$y(t) = A_u e^{\pm a(t \pm l)} \cos(k_u(t \pm l) + c) + d \quad (2)$$

em que A_u é a amplitude do movimento oscilatório, a, c, d , são as constantes de ajuste, l é uma constante de translação. O sinal \pm está associado a um processo atrator (-) ou repulsor (+) de um movimento oscilatório, que para este caso específico, foi associado à série temporal de velocidade do vento horizontal suavizada. Aqui a suavização da série temporal constitui o procedimento fundamental na identificação das estruturas de interesse (Izadi, 2012). Por esse motivo, no processo de suavizações das séries temporais, utilizou-se um procedimento de filtragem passa-baixa com uma redução de 10% na amplitude de oscilação da série temporal de velocidade do vento horizontal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aqui são mostradas séries temporais turbulentas que apresentam comportamento típico de oscilações sob efeitos de amortecimento subcrítico em intervalos de tempo que sucedem a ocorrência de um FE. Este comportamento amortecido pode ser verificado nas oscilações de baixa frequência, que estão apresentadas na série temporal de velocidade horizontal do vento em cor “vermelha” na Figura 1.

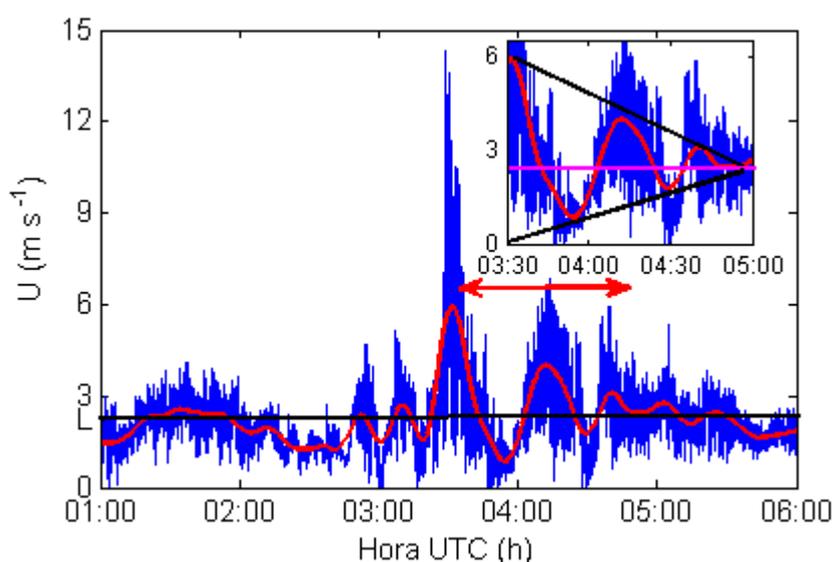


Figura 1 – Série temporal da velocidade horizontal do vento mostrando um máximo relativo principal (fenômeno extremo) na velocidade do vento. As linhas “azul” e vermelha representam as séries temporais de velocidade do vento bruta e suavizada, respectivamente.

O painel de destaque apresenta a região pós-evento, hora em estudo, na qual pode-se verificar um comportamento típico de uma oscilação sob efeito de amortecimento subcrítico. Na figura principal, a seta na cor “vermelha” localiza a região em destaque e a linha na cor “preta” localiza uma velocidade limiar que foi utilizada

principalmente para verificar a perda de amplitude de oscilação no decurso do tempo. No destaque os pontos superior e inferior de um *envelope* representado pelas duas linhas na cor “preta”. A partir do destaque da Figura 1, podem-se realizar alguns ajustes buscando-se comprovar que a série temporal de velocidade do vento horizontal em questão está sob efeitos de amortecimento. Para isso utilizaram-se as equações propostas por Martens (1984) e o ajuste proposto na Equação 2 acima. Mostra-se na Figura 2 que foi obtido bom ajuste, tanto em relação às equações analisadas por Martens (1984), em que o autor verificou a existência de pontos fixos e ciclos limite, quanto ao ajuste obtido pela Equação 2 (aqui proposta). Assim, sugere-se a existência de amortecimento subcrítico de tal forma que os efeitos inerciais da baixa frequência diminuem de amplitude e em decorrência disso, passam a ter maior influência os efeitos dinâmicos locais. Estes devem ter sua gênese associada a processos superficiais, particularmente aqueles envolvendo interação do escoamento com a vegetação. Ressalte-se que a linha horizontal “preta” da Figura 1 indica um valor de velocidade-limiar, separando regimes noturnos de turbulência “fraca” e “forte”, conforme proposto por Sun et al. (2012).

Para a Equação 1, proposta por Martens (1984), foram utilizados os seguintes valores: $x_0 = y_0 = 2,4$; $b = 0,144$. Para a Equação 2, utilizaram-se os valores: $A_u = 2,4$; $a = 0,04$; $k_u = \pm 0,024$; $c = 0$; $d = 0$; $l = 0,95$. O resultado destes ajustes está na Figura 2.

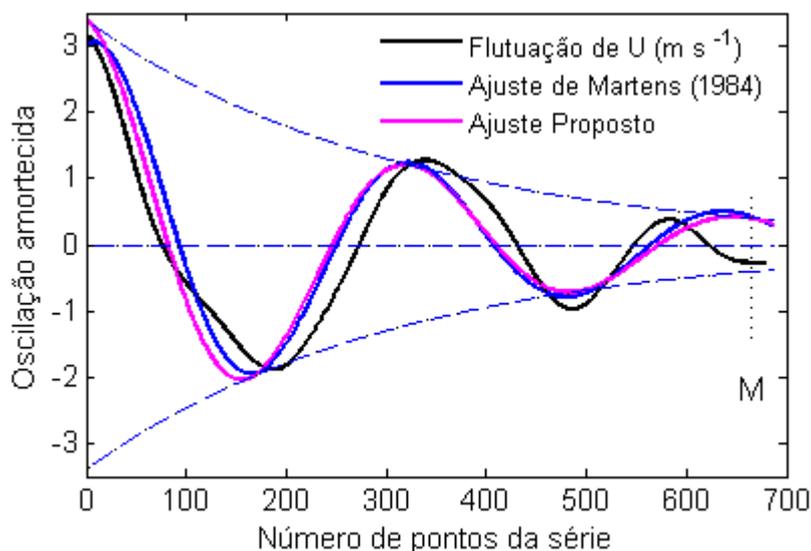


Figura 2 – Ajustes para o amortecimento subcrítico da série temporal real (linha na cor “preta”) em comparação com o obtido por Martens (1984) (na cor “azul”) e o que resulta da equação 2 (na cor “magenta”). Os termos de amortecimento foram ajustados em relação aos envelopes da Equação 2. O ponto “M” marca o limiar a partir do qual os modos de oscilação amortecida deixam de estar limitados por um envelope (linha “azul” tracejada).

Na Figura 3, é possível observar que ocorrem dois padrões de oscilação para dois intervalos de tempo distintos que sucedem a forte rajada de vento que marca o FE em estudo. O primeiro intervalo inicia na origem até o ponto “M” e o segundo inicia no ponto “M” até o final da série temporal de velocidade do vento. Nisto, é importante verificar que o ponto “M” tem um caráter de ponto fixo atrator a partir do qual a turbulência muda de regime e a partir do qual o envelope que caracteriza a intensidade do amortecimento associado ao decréscimo de energia deixa de se manifestar (sugere-se “M” como um ponto fixo estável de menor energia que é a “representação de fase” do instante em que o sistema muda de estado).

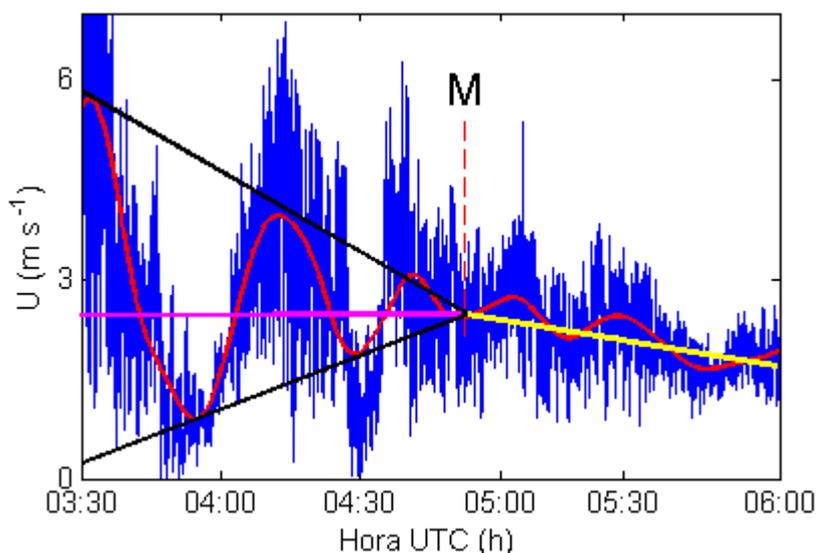


Figura 3 – Intervalo da série temporal da velocidade do vento no qual podem-se verificar dois comportamentos distintos: O *primeiro*, que vai desde a origem até o ponto “M”, apresenta um comportamento típico de amortecimento subcrítico, ao qual é possível associar-se um *envelope*, representado pelas linhas “pretas” e que caracteriza uma região em que ainda predomina o regime de forte turbulência. O *segundo* intervalo, que vai do ponto “M” em diante, mostra uma mudança de tendência da série temporal e certamente o fim da prevalência do FE.

Da Figura 3 obtêm-se os ajustes: O Ajuste I representa o intervalo de tempo entre a origem (\approx 03:30 UTC) e o ponto “M”. O Ajuste II representará o intervalo seguinte ao ponto “M”, ou seja, o instante para o qual ocorre uma mudança no sinal do coeficiente angular das retas que estão associadas aos ajustes I e II. Pode-se verificar algumas diferenças entre os dois intervalos analisados (Tabela 1).

Tabela 1. Análise comparativa entre valores de grandezas sob diferentes regimes de velocidade do vento.

Intervalo	r_{wu}	$H (Wm^{-2})$	$\langle w'u' \rangle (m^2s^{-2})$	$\frac{var(v)}{var(u)}$	$TKE (m^2s^{-2})$
Ajuste I	-0,176	23,923	-0,103	0,158	1,115
Ajuste II	-0,220	-7,472	-0,028	0,2778	0,207

Esta tabela mostra valores de grandezas fisicamente relevantes para as regiões correspondentes aos ajustes I e II. Destes, provavelmente o mais curioso seja que o fluxo de calor para o ajuste I é (em módulo) pelo menos três vezes maior em relação ao ajuste II, além de mudança do seu sinal, com o fluxo, H passando de positivo para negativo. Isto sugere que a partir de “M”, a evolução da Camada Limite Noturna acima da copa tem um comportamento “convencional” de tal forma que a estabilidade passa a dominar a cena, diferentemente da condição anterior à chegada ao ponto “M”, em que os processos mecânicos pareciam ter uma função importante nas trocas entre as regiões acima e no interior do dossel vegetal. Essa inversão de sinal aconteceu em 3 de 4 casos em que foram identificados FRV, mas que não estão sendo apresentados aqui. Além disso verifica-se que a energia cinética turbulenta é superior para o ajuste I, no qual predominam regimes de vento forte.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como principais conclusões pode-se citar:

1 – Foi possível obter um bom ajuste para a série temporal suavizada de velocidade horizontal do vento e as soluções das equações de Martens, (1984) e a solução clássica de uma oscilação sob efeitos de amortecimento subcrítico;

2 – Foi possível verificar que existem duas condições dominantes:

A primeira é aquela que predomina enquanto os efeitos da FE ainda são predominantes, e nesta destacam-se elevados valores do fluxo de calor e alta energia cinética turbulenta.

A outra é aquela em que os efeitos inerciais associados à forte velocidade do vento cessam, e as condições locais passam a dominar a partir de um instante (ponto “M”) que marcaria a mudança de regime de turbulência forte para regime de turbulência fraca.

Palavras-chave: Fenômeno extremo, camada Limite noturna, oscilações amortecidas, floresta amazônica, espaço de fase.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos pelo suporte financeiro aos estudos de campo ao U. S. Department of Energy (grant SC0011075), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), e FAPESP (Processo número 2013/50529-8) e ao projeto The Large scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). Francisco Otávio Miranda Farias é grato à Universidade do Estado do Amazonas pelo suporte financeiro [PORTARIA Nº 086/2021 - GR/UEA]

REFERÊNCIAS

Betts, A. K., Gatti, L. V., Cordova, A. M., Silva Dias, M. A., & Fuentes, J. D. (2002a). Transport of ozone to the surface by convective downdrafts at night. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D20).

Dias-Júnior, C. Q., Sá, L. D., Marques Filho, E. P., Santana, R. A., Mauder, M., & Manzi, A. O. (2017). Turbulence regimes in the stable boundary layer above and within the Amazon forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, p. 122-132.

Miranda Farias, F.O. Detecção de fenômenos extremos na camada limite atmosférica noturna acima da floresta Amazônica a partir da análise de sinais precursores. 2017. 233 f. Tese (Clima e Ambiente (CLIAMB)) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2017.

Miranda, F. O., Ramos, F. M., von Randow, C., Dias-Júnior, C. Q., Chamecki, M., Fuentes, J. D., ... & de Souza, C. M. (2020). Detection of extreme phenomena in the stable boundary layer over the Amazonian forest. *Atmosphere*, 11(9), 952.

Fuentes, J. D., Chamecki, M., Nascimento dos Santos, R. M., Von Randow, C., Stoy, P. C., Katul, G., ... & Souza Freire, L. (2016). Linking meteorology, turbulence, and air chemistry in the Amazon rainforest. *Bulletin of the American Meteorological Society*, (2016).

Gerken, T., Wei, D., Chase, R. J., Fuentes, J. D., Schumacher, C., Machado, L. A., ... & Jardine, A. B.. Downward transport of ozone rich air and implications for atmospheric chemistry in the Amazon rainforest. *Atmospheric Environment*, 124, 64-76, 2016.

Izadi, H.. Local signal regularity and smoothness as a means for seismic Q estimation (Doctoral dissertation, University of Calgary), 2012.

Martens, P. C. H.. Applications of non-linear methods in astronomy. *Physics Reports*, 115(6), 315-378, 1984.

Sun, J., Mahrt, L., Banta, R. M., & Pichugina, Y. L.. Turbulence regimes and turbulence intermittency in the stable boundary layer during CASES-99. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 69(1), 338-351, 2012.