

Edição especial

Ação de jatos de baixo nível para a geração de turbulência: estudo de caso para o Pantanal

Low-level jet and turbulence production: a case study for the Pantanal

Marcos Mateus Rodrigues da Silva¹ , Camila Tassiane Silva Martins Pinho¹ ,
Hardiney dos Santos Martins¹ , Cléo Quaresma Dias Junior¹ 

¹Instituto Federal do Pará, Belém, PA, Brazil

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução temporal da energia cinética turbulenta sobre a ação de Jatos de Baixo Nível na Camada Limite Noturna do Pantanal, através dos fluxos de calor sensível e Momentum. A metodologia empregada foi um estudo de caso para a noite entre os dias 19 e 20 de Setembro de 1999, durante a estação seca na região. Esta noite é rica em fenômenos diversos com dois eventos de JBN, onda de gravidade, uma instabilidade convectiva e queimada na região. Calculou-se, utilizando média móvel de 5 minutos, os fluxos de calor sensível e momentum, a velocidade de fricção e a energia cinética turbulenta. Observou-se que no início da noite, com maior atividade turbulenta, os efeitos sobre os fluxos, a energia cinética turbulenta e a velocidade de fricção são mais perceptíveis. Com o aumento da supressão da turbulência, o cisalhamento do vento do tipo upside-down foi promovida pelo Jato tem pouco impacto na superfície. Conclui-se que o efeito do Jato dependerá da sua relação com a supressão da atividade turbulenta promovida pela camada estável.

Palavras-chave: Pantanal; Camada Limite Noturna; Jato de Baixo Nível

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the temporal evolution of the turbulent kinetic energy over the effect of Low Level Jets in the Pantanal Night Boundary Layer through the sensible heat flux and momentum flux. The methodology employed was a case study for the night between September 19th and 20th, 1999, during the dry season in the region. This night is rich in diverse phenomena with two LLJ events, a gravity wave, a convective instability and burning in the region. The sensible heat and momentum fluxes, friction velocity and turbulent kinetic energy were calculated using 5 minute moving. We observed that in the early evening, with higher turbulent activity the effects on the fluxes, turbulent kinetic energy and friction velocity are more pronounced. As turbulence

suppression increases the upside-down wind shear promoted by the Jet has negligible impact at the surface. In conclusion, the effect of the Jet will be depending on its relationship with suppression of turbulent activity promoted by the stable layer.

Keywords: Pantanal; Nocturnal boundary layer; Low-level jet

1 INTRODUÇÃO

O Pantanal é a maior planície inundável do planeta e caracteriza-se por irregularidade espacial e temporal das regiões alagadas e secas. A passagem da umidade advinda da Amazônia, em associação com esta irregularidade de regiões alagadas, promove mudanças significativas nas variáveis micrometeorológicas da região do Pantanal (Martins; Sá; Moraes, 2013).

O Experimento Interdisciplinar do Pantanal (Interdisciplinary Pantanal Experiment - IPE) foi implementado para melhor descrever essas particularidades. Este experimento foi realizado em 3 campanhas em um longo período de monitoramento da região. As campanhas experimentais foram implementadas no período de transição entre inundado e seco (IPE1 - Abril a Maio de 1998), período seco (IPE2 - Setembro de 1999) e inundado (IPE3 - Fevereiro de 2002) (Marques-Filho *et al.*, 2008).

Apesar destas iniciativas, o Pantanal possui limitada quantidade de instalações experimentais que permitem uma melhor descrição da variabilidade do escoamento turbulento in loco (Martano; Marques-Filho; Sá, 2015). Além dessas características, a região apresenta registros de eventos de Ondas de Gravidade (OG) e Jatos de Baixo Nível (JBN) (Martins; Sá; Moraes, 2013). Esses fenômenos têm grande relevância pois aumentam a complexidade do escoamento turbulento e impactam diretamente nos fluxos de matéria e energia durante o período noturno (Correa *et al.*, 2021).

Segundo Stull (1988) um JBN é uma corrente de ar estreita que se move rapidamente acima da superfície. O forte cisalhamento do vento promovido pelo JBN pode gerar turbulência entre o nível do jato até a superfície (Baas *et al.*, 2009), dessa maneira, gerando uma Camada Limite Invertida em que a turbulência é gerada no

nível do JBN e transferida de forma descendente para a superfície. A origem de um JBN é associada com oscilação inercial, baroclinicidade associada com a declividade do terreno, frentes, ventos de montanhas e vales, baroclinicidade associada com padrões climáticos de escala sinótica e acelerações advectivas (Stull, 1988).

De acordo com Sanchez *et al.* (2022) a definição dos efeitos e características do JBN depende muito da localização geográfica e das particularidades do terreno. Assim, a descrição dos impactos no escoamento turbulento na presença de JBN deve abranger condições distintas de superfície e localização geográfica.

A presença de JBN na Camada Limite Noturna do Pantanal e seus efeitos em alguns parâmetros do escoamento turbulento já foi estudada por Andrade (2003) e Martins, Sá e Moraes (2013). Contudo, a dinâmica da ação do JBN sobre os fluxos de momentum e calor sensível e a consequente influência na produção de energia cinética turbulenta no Pantanal ainda não ficou bem definida.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a evolução temporal da energia cinética turbulenta sobre a ação de Jatos de Baixo Nível na Camada Limite Noturna do Pantanal, através dos fluxos de calor sensível e momentum em um estudo de caso para uma noite com dois eventos de JBN, durante a estação seca na região.

2 METODOLOGIA

2.1 Sítio e dados experimentais

O sítio experimental localiza-se no município de Corumbá, Estado do Mato- Grosso do Sul, localizado a sudeste do Pantanal (19°34'S, 57°01'W). Na região do sítio experimental o vento é predominante de noroeste e com vegetação característica de cerrado (Martins; Sá; Moraes, 2013).

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos através de radiossondagens (modelo VäisäläRS80), dados de resposta lenta (anemômetro - Campbell modelo A1000 e termômetro - Campbell modelo HMP45c) e dados de resposta rápida (anemômetro e

termômetro sônico - modelo 3D CSA-T3 Campbell). Os instrumentos foram dispostos conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Distribuição dos instrumentos na torre Experimental

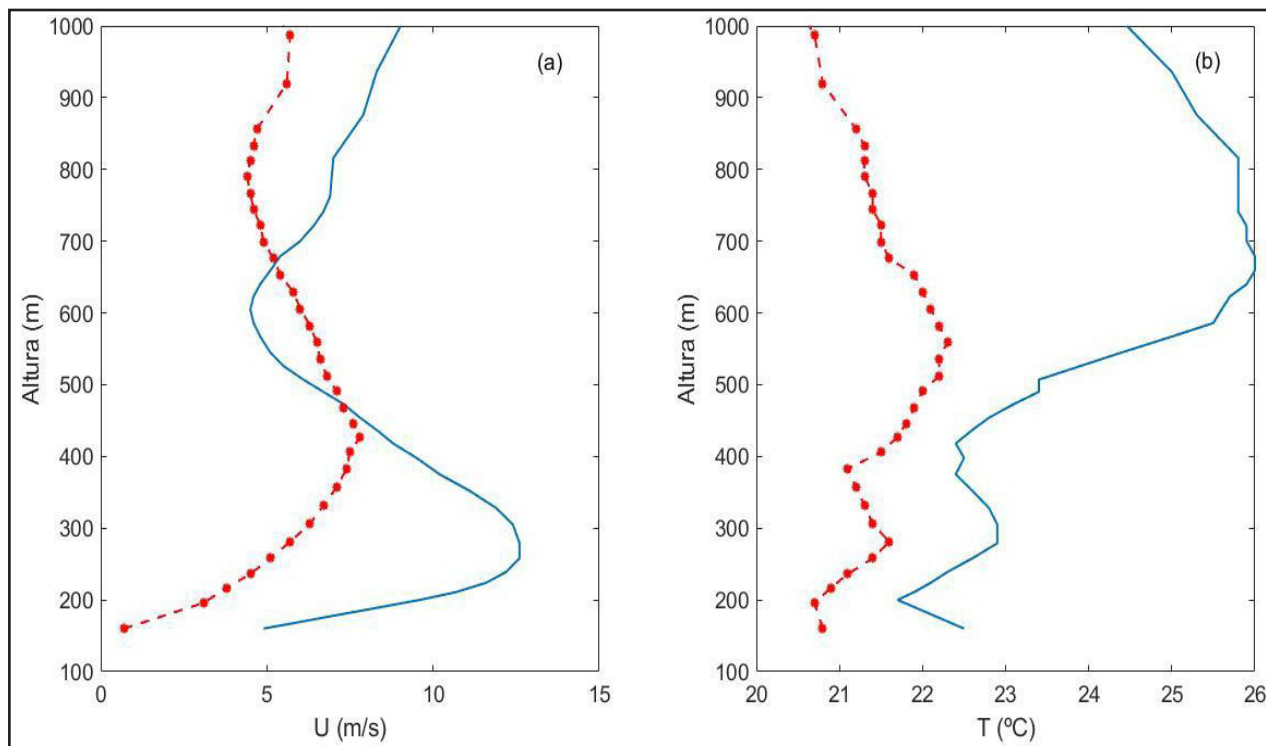
Altura	Instrumento	Variáveis	Frequência de Amostragem
8m	nenômetro termohigrômetro	U, q, T	0,01Hz
10m	Anenômetro e termohigrômetros	U, q, T	0,01Hz
14m	Anenômetro e termohigrômetros	U, q, T	0,01Hz
22m	Anenômetro e termohigrômetros	U, q, T	0,01Hz
25m	Anenômetro e Termômetro (Sônico)	u,v,w,T	16Hz

Para a realização deste estudo de caso, utilizou-se dados de uma noite (19 a 20 de Setembro de 1999). A escolha desta noite em particular decorre da detecção do JBN em dois momentos distintos durante a mesma, com a alternância de não detecção do jato entre estes eventos. A noite possui três segmentos diversos: I) No início da noite com alta atividade turbulenta, presença de Instabilidade Convectiva, Onda de Gravidade e um JBN, II) pouca atividade turbulenta e III) Atuação de uma JBN que persiste até o final da noite. Dessa maneira, podemos avaliar o impacto da presença do JBN na produção de energia cinética turbulenta em momentos distintos durante a evolução da CLN.

2.2 Métodos

Para a detecção da presença dos Jatos de Baixo Nível utilizou-se as radiossondas, sendo definido sua presença quando observou-se a existência de um máximo no perfil de velocidade do vento com diferença de 2m/s acima e abaixo deste máximo, em até 200m entre estes níveis (Poulos *et al.*, 2002). Na Figura 1 temos os perfis de velocidade do vento, Fig 1a e temperatura, Fig 1b. Nota-se que nestes horários os perfis de velocidade do vento apresentam um máximo de velocidade que atende os critérios estabelecidos em Poulos *et al.* (2002). Os perfis de temperatura (Fig 1b) demonstram que há uma camada estável formada com altura aproximada de 200m.

Figura 1 – Perfis verticais de (a) Velocidade do vento e (b) Temperatura. A linha em azul representa os perfis para o horário local de 20h e a linha vermelha para 02h da manhã entre os dias 19 e 20 de Setembro de 1999



Fonte: Dados da pesquisa (setembro de 2022)

Após a detecção da presença dos Jatos de Baixo Nível, analisou-se os dados de resposta lenta para a torre. Utilizando-se dos dados de resposta rápida (sônico), implementou-se os cálculos de fluxo de momentum, velocidade de fricção, fluxo de calor sensível e energia cinética turbulenta com média móvel, para suavizar variações muito bruscas, com uma janela de média com 5 minutos. Desta maneira, pode-se avaliar a evolução temporal destes parâmetros durante a noite nos diferentes contextos de atividade turbulenta.

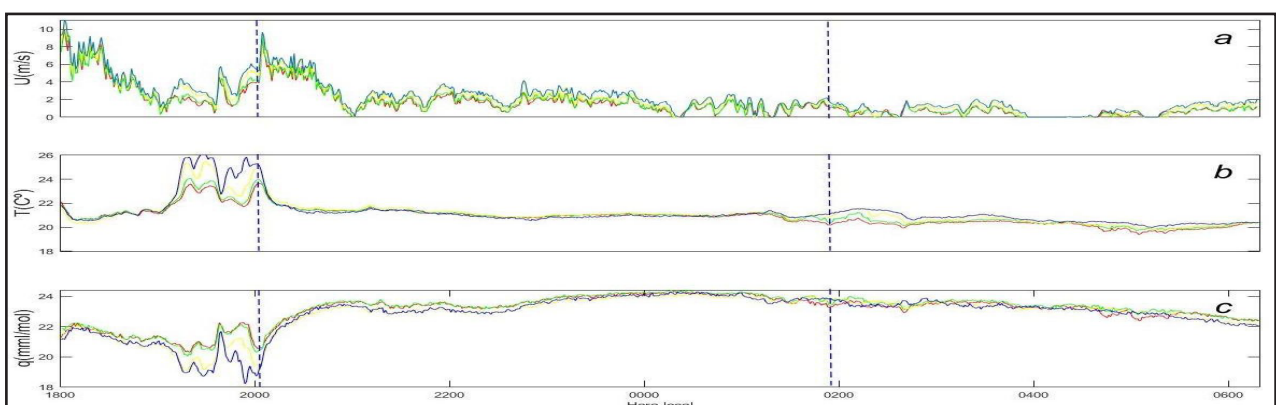
3 RESULTADOS

Na Figura 2 temos os dados dos perfis dos instrumentos da torre para a velocidade do vento (Fig.2a), temperatura (Fig.2b) e umidade (Fig.2c). Nota-se que antes do primeiro evento de JBN há um súbito aumento da velocidade do vento e da temperatura e uma

queda brusca da concentração da umidade. Acredita-se que este evento esteja ligado à passagem de uma instabilidade convectiva e uma queimada, conforme relatado por Mendes-Junior *et al.* (2000). Podemos notar a instabilidade convectiva na Figura 3, obtida pelas imagens de infravermelho do satélite GOES-8. Neste horário, conforme descrito por Martins, Sá e Moraes (2013), registrou-se uma Onda de Gravidade antes das 20h. Segundo Mendes-Junior *et al.* (2000), a instabilidade convectiva se dissipou rapidamente até 21h (Hora Local).

Após as 20h (Hora Local), observa-se na Figura 2 que a velocidade do vento e a temperatura diminuem e a concentração de umidade cresce. Este comportamento deve-se à supressão da atividade turbulenta pela camada estável formada anteriormente (conforme verificamos na Figura 1) (Acevedo; Fitzjarrald, 2001). Observa-se pouca diferença entre os níveis para a temperatura e a umidade até próximo do horário de 02h (Hora Local), quando nota-se uma diminuição da concentração da umidade e o aumento do gradiente de temperatura entre os níveis da torre. Este horário é próximo do horário de detecção de outro JBN (Fig. 1). Desta maneira, acredita-se que o JBN promoveu mistura turbulenta do tipo upside-down e modificou o gradiente de temperatura e promoveu fluxo de umidade acarretando na diminuição da concentração da umidade.

Figura 2 – Perfis verticais da torre para (a) velocidade do vento U , (b) Temperatura T e (c) Umidade q , da noite entre os dias 19 e 20 de Setembro de 1999

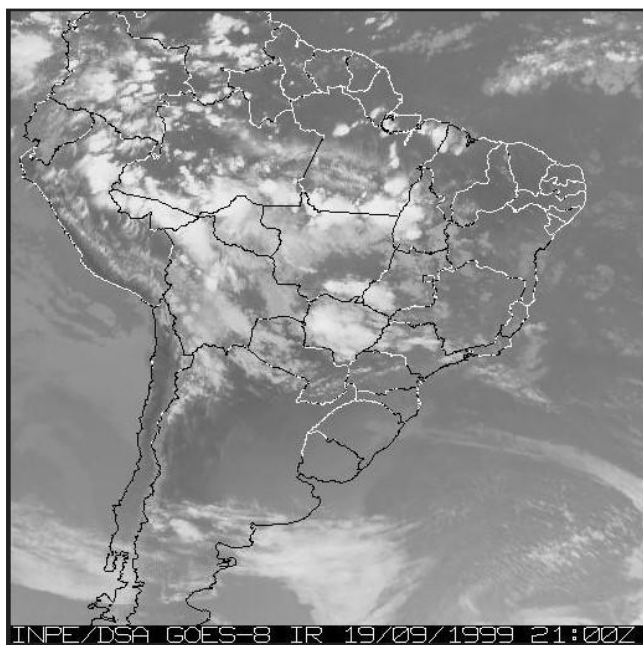


Fonte: Dados da pesquisa (setembro de 2022)

Legenda: As linhas verticais representam os horários de detecção do Jato de Baixo Nível. As linhas representam uma respectiva altura de medida: vermelha (8m), verde (10m), amarela (14m) e azul (22m)

Na Figura 4 observa-se um intenso fluxo de calor negativo no início da noite que persiste até a ocorrência de um curto e forte evento com fluxo de calor positivo, coincidente com o horário de aumento de temperatura observado nos dados de resposta lenta (Fig 2). O fluxo de calor positivo ocorre em horário próximo do final da passagem da instabilidade convectiva, relatada por Mendes Junior *et al.* (2000), e da detecção do JBN. Após as 20h (Hora Local), nota-se uma diminuição gradativa do módulo do fluxo de calor que aproxima-se de zero após às 00h (Hora Local). Este comportamento persiste até próximo das 02h, quando nota-se um evento de fluxo de calor positivo e posteriormente um leve aumento do módulo do fluxo de calor, com horário coincidente com a detecção do segundo evento de JBN.

Figura 3 – Presença de Instabilidade Convectiva sobre o sítio experimental no horário local de 17h

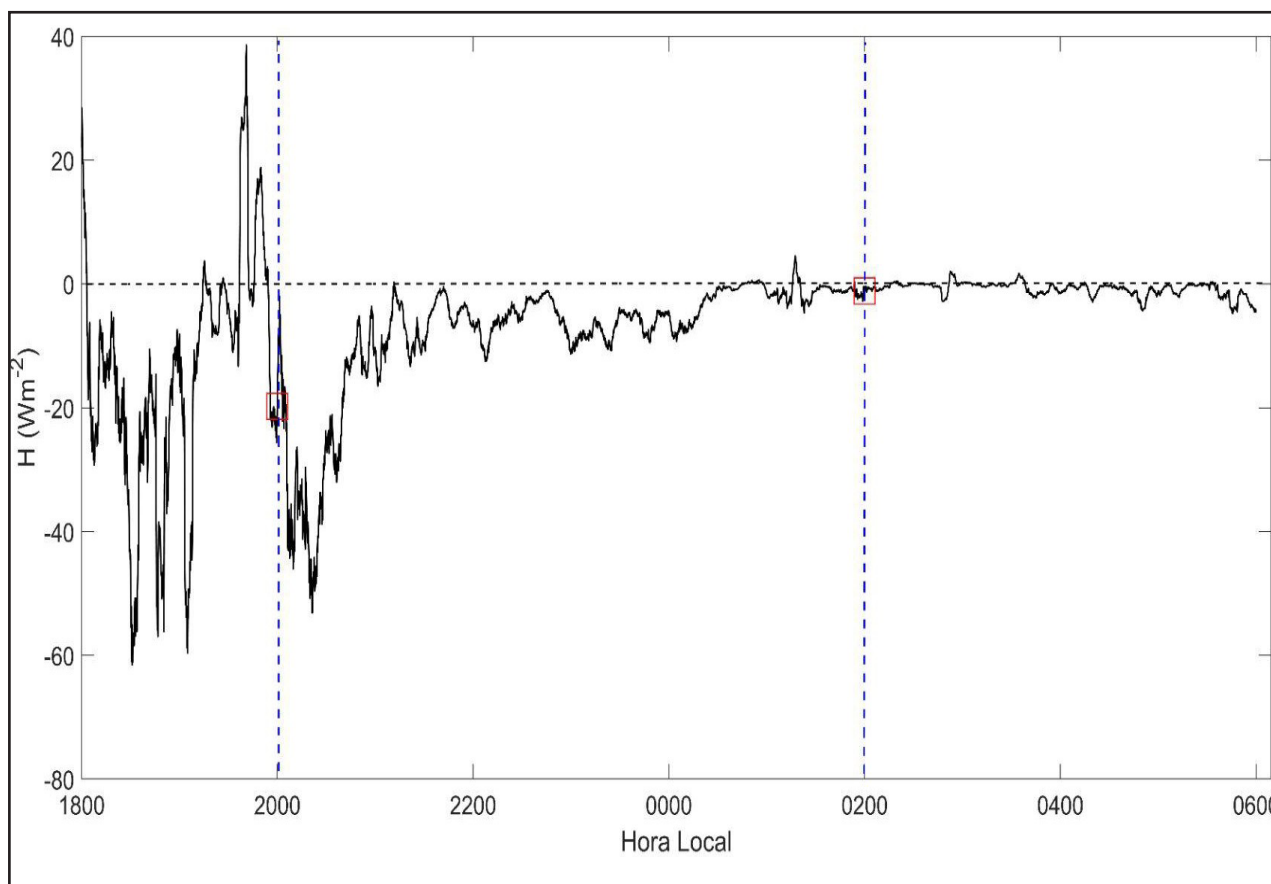


Fonte: INPE/ DSA GOES-8 (setembro de1999)

A Figura 5 apresenta a média móvel da energia cinética turbulenta (TKE), o módulo do fluxo de momentum e a velocidade de fricção (u^*) para a noite estudada. Nota-se a tendência do decréscimo de TKE desde o início da noite até o horário

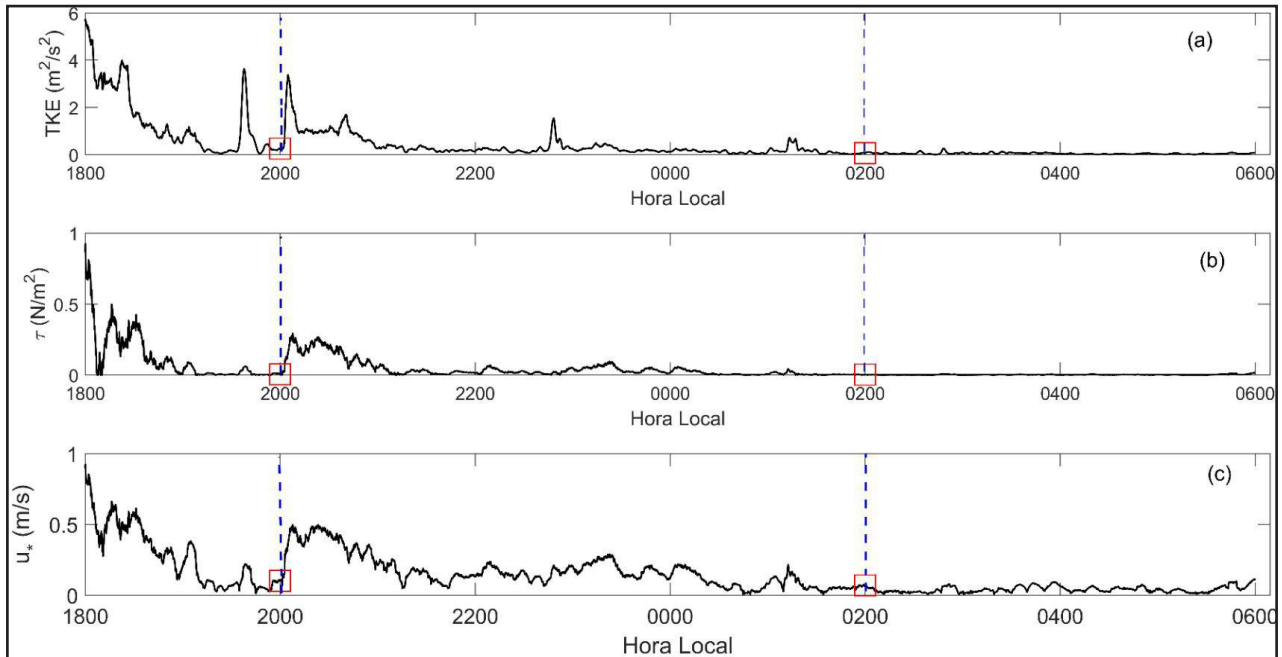
próximo às 20h. Neste horário observa-se dois picos de TKE, sendo esses picos coincidentes com um aumento do fluxo de momentum e da velocidade de fricção (Figuras 5b e 5c) e correspondente ao horário de intensificação do fluxo de calor positivo, demonstrado na Figura 4 e com horário próximo da detecção do JBN. Desta maneira, acreditamos que a ação do JBN de promover cisalhamento do vento do tipo upside-down estabeleceu um aumento do fluxo de calor sensível, do fluxo de momentum e da velocidade de fricção, impactando diretamente na produção de TKE no horário. Com o aumento da estabilidade, o impacto sobre os fluxos de calor e momentum diminui e, conseqüentemente, há menos produção de TKE (Sanchez *et al.*, 2022).

Figura 4 – Média Móvel do Fluxo de Calor Sensível da noite entre os dias 19 e 20 de Setembro de 1999. As linhas verticais em azul marcam o horário de detecção dos eventos de JBN



Fonte: Dados da pesquisa (setembro de 2022)

Figura 5 – Média Móvel da (a) Energia Cinética Turbulenta TKE, (b) Módulo do Fluxo de Momentum e (c) Velocidade de Fricção u^* , para a noite entre os dias 19 e 20 de Setembro de 1999. As linhas verticais em azul marcam o horário de detecção dos eventos de JBN



Fonte: Dados da pesquisa (setembro de 2022)

4 CONCLUSÃO

Observa-se que a ação do Jato de Baixo Nível sobre fluxos de calor sensível e momentum, além dos parâmetros de superfície, é diferenciada na evolução da noite no Pantanal. O cisalhamento do vento do tipo upside-down promove intensificação nos fluxos de momentum, calor sensível e na velocidade de fricção em instantes de maior atividade turbulenta. Com a supressão da energia cinética turbulenta, os efeitos sobre os fluxos, velocidade de fricção e energia cinética turbulenta são menos perceptíveis. O cisalhamento do vento estabelecido de forma descendente pelo Jato não conseguiu superar a camada estável e modificar as condições de superfície, quando esta camada torna-se maior com a evolução da noite. Conclui-se que o efeito do Jato dependerá da sua relação com a supressão da atividade turbulenta promovida pela camada estável.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, O.; FITZJARRALD, D. The early evening surface-layer transition: temporal and spatial variability. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 58, p. 2650–2667, 2001.
- ANDRADE, E. S. de. Na estrutura da camada limite estável acima do Pantanal Matogrossense. 2003. 206 f. **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- BAAS, P.; BOSVELD, F. C.; BALTINK, H. K.; HOLTSLAG, A. A. M. A climatology of nocturnal low-level jets at cabauw. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 48, p. 1627–1642, 2009.
- CORREA, P. B.; DIAS-JUNIOR, C. Q.; CAVA, D.; SORGEL, M.; BOTIA, S.; ACEVEDO, O.; OLIVEIRA, P. E.; MANZI, A. O.; MACHADO, L. A. T.; MARTINS, H. d. S.; TSOKANKUNKU, A.; ARAUJO, A. C.; LAVRIC, J. V.; WALTER, D. W.; MORTARINI, L. A case study of a gravity wave induced by amazon forest orography and low level jet generation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 307, p. 108457, 2021.
- MARQUES-FILHO, E. P.; Sá, L. D. d. A.; KARAM, H.; ALVALA, R.; SOUZA, A.; PEREIRA, M. Atmospheric surface layer characteristics of turbulence above the pantanal wetland regarding the similarity theory. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, p. 883–892, 2008.
- MARTANO, P.; MARQUES-FILHO, E. P.; Sá, L. D. D. A. Land-atmosphere transfer parameters in the brazilian pantanal during the dry season. **Atmosphere**, v. 6(6), p. 805–821, 2015.
- MARTINS, H. S.; Sá, L. D. d. A.; MORAES, O. L. L. Low level jets in the pantanal wetland nocturnal boundary layer – case studies. **American Journal of Environmental Engineering**, v. 3(1), p. 32–47, 2013.
- MENDES-JUNIOR, O.; DOMINGUES, M. O.; CHAN, C. S.; ALVALÁ, R. C. d. S.; Sá, L. D. d. A.; MANZI, A. O.; SOUZA, A. d. Análise do tempo local durante o experimento ipe 2: Abordagem observacional preliminar. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 19., 2000, Rio de Janeiro. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000.
- POULOS, G.; BLUMEN, W.; FRITTS, D.; LUNDQUIST, J.; SUN, J.; BURNS, S.; NAPPO, C.; BANTA, R.; NEWSOM, R.; CUXART, J.; TERRADELLAS, E.; BALSLEY, B.; JENSEN, M. Cases-99: A comprehensive investigation of the stable nocturnal boundary layer. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 83, p. 555–581, 2002.
- SANCHEZ, M. P.; OLIVEIRA, A. P. d.; VARONA, R. P.; TITO, J. V.; CODATO, G.; YNOUE, R. Y. Y.; RIBEIRO, F. N. D.; MARQUES-FILHO, E. P.; SILVEIRA, L. C. d. Observational investigation of the low-level jets in the metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Earth and Space Science**, v. 9, p. e2021EA002190., 2022.
- STULL, R. An introduction to boundary layer meteorology. **Dordrecht: Kluwer Academic Publishers**, 1988. 666 p.

Contribuição de Autoria

1 - Marcos Mateus Rodrigues da Silva

Graduando em Física-Licenciatura, Instituto Federal do Pará, Belém, PA
<https://orcid.org/0009-0002-6479-3882> • email: mateus.rodrigues17039@gmail.com
Contribuição: Curadoria de Dados; Escrita – Primeira Redação

2 - Camila Tassiane Silva Martins Pinho

Instituto Federal do Pará, Belém, PA. Graduada em Física-Licenciatura
<https://orcid.org/0009-0003-1834-4397> • email: fisicamila6@gmail.com
Contribuição: Curadoria de Dados; Escrita – Primeira Redação

3 - Hardiney dos Santos Martins

Doutor em Física pela Universidade Federal de Santa Maria, Instituto Federal do Pará
<https://orcid.org/0000-0001-9059-2502> • email: hardiney.martins@ifpa.edu.br
Contribuição: Conceituação; Curadoria de Dados; Escrita – Primeira Redação

4 - Cléo Quaresma Dias Junior

Doutor em Clima e Ambiente pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Instituto Federal do Pará, Belém, PA
<https://orcid.org/0000-0003-4783-4689> • email: cleo.quaresma@ifpa.edu.br
Contribuição: Curadoria de Dados; Escrita – Primeira Redação

Como citar este artigo

SILVA, M. M. R.; PINHO, C. T. S. M.; MARTINS, H. dos S.; DIAS JUNIOR, C. Q. Ação de Jatos de Baixo Nível Para a Geração de Turbulência: Estudo de Caso para o Pantanal. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 45, sp. n. 2, e83674, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X83674>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/83674>. Acesso em: dia mês abreviado ano.