

A OCORRÊNCIA DE FLUXOS NO PERFIL VERTICAL DO VENTO NA BAIXA ATMOSFERA E SEU EFEITO NA INTENSIDADE DO ÍNDICE “K”.

CLEBER SOUZA CORRÊA

Subdivisão de Pesquisa de Climatologia Aeronáutica (PCA) - ICEA
DECEA - Comando da Aeronáutica, Ministério da Defesa, São José dos Campos, SP
e-mail: cleber@icea.gov.br

Recebido Janeiro 2006 - Aceito Março 2006

RESUMO

Neste estudo objetivou-se caracterizar a influência dos fluxos/Jatos de Nível Baixo (JNB) nos níveis de 850 e 950 hPa com o índice “K”. O mecanismo associado aos fluxos/JNB realiza um transporte de calor e vapor de água, aumentando o conteúdo de umidade na baixa troposfera. Este aumento de umidade na baixa troposfera afeta diretamente o valor do Índice “K”. Utilizou-se o perfil vertical da temperatura do ar e da temperatura do ponto de orvalho em radiossondagens realizadas no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre. Calculando-se o Índice “K” em dois horários 21:00 e 09:00 horas para 176 dias e comparou-se com a precipitação diária em Porto Alegre. Utilizou-se a técnica de classificação não-hierárquica, separando os grupos de dados da série temporal que caracterizam padrões de variação destes Índices K’s com a precipitação. Os resultados mostram a influência do transporte realizado pelos fluxos/JNB em 950 hPa caracterizando um mecanismo de convergência e de geração de convecção na Camada Limite Planetária (CLP).

Palavras-chave: fluxos, camada limite planetária e índice “K”.

ABSTRACT: THE OCCURRENCE OF STREAMS IN THE LOWER-ATMOSPHERE VERTICAL WIND PROFILE AND OF THEIR EFFECT TO INTENSITY OF THE “K” INDEX.

This study analyses the relation between the Streams/Low-Level Jets (LLJ) at the 850 and 950 hPa levels with the “K” Index. The mechanism associated with the Streams/LLJ transports the heat and water vapor, increasing the humidity in the low troposphere. This humidity in the low troposphere to affect directly the “K” Index. Profiles of air temperature and dew point were used by radiosonde measurement at Salgado Filho International Airport in Porto Alegre. The “K” Index was calculated at 21:00 and 09:00 hrs, local time, during 176 days and compared with daily precipitation in Porto Alegre. To describe the relations involved, the study uses statistical method non-hierarchical classification to separate the cluster data of the time series that characterize the variety of the K’s Index with the precipitation. The result display to be important of the transport by Streams/LLJ at the 950 hPa; it characterizes a mechanism of the convergence and to produce the convection in the Planetary Boundary Layer (PBL).

Keywords: streams, planetary boundary layer and “K” index.

1. INTRODUÇÃO

No trabalho de Whiting e Bailey (1957) foi desenvolvida uma metodologia que buscou identificar os parâmetros verticais da atmosfera que contribuisse para a realização da previsão das áreas de tornado no período de 24 horas. Seus resultados implicaram no desenvolvimento do Índice K. Este índice é uma medida do potencial da geração de tempestades baseado na taxa vertical da variação da temperatura, no conte-

údo de umidade na baixa troposfera e a extensão vertical desta camada úmida. Com a estimativa da taxa vertical é dada pela diferença entre as temperaturas de 850 e 500 hPa. O conteúdo de umidade é dado pela temperatura do ponto de orvalho de 850 hPa. A extensão vertical é dada pela depressão entre a temperatura do ar e do ponto de orvalho em 700 hPa. Estes parâmetros mostram a estrutura vertical da atmosfera, de forma a caracterizar os processos físicos na geração da convecção e conseqüente precipitação.

O Índice K é fortemente influenciado pelo conteúdo de umidade na baixa troposfera, portanto a existência de fluxos e Jatos de Nível Baixo (JNB) no perfil vertical do vento na baixa atmosfera tem forte efeito nos processos de transporte de calor e vapor de água e conseqüentemente desempenha importante papel na geração e manutenção da convecção, caracterizando uma parte significativa desse mecanismo ao nível de meso escala, podendo apresentar um ciclo diário e noturno.

Em vários estudos observacionais e simulações numéricas, Bonner (1968); Stensrud (1996); Whiteman et al. (1997); Parsons et al. (2000) e Lackmann (2002), os fluxos/JNB são observados e responsáveis por parte deste aumento de vapor de água em baixos níveis troposféricos, desempenhando importante papel na circulação geral da atmosfera. Na geração e manutenção dos processos de convecção em latitudes médias podendo apresentar uma estrutura dinâmica e estratificada com a existência de diferentes escalas meteorológicas espaciais e temporais.

Uccellini e Johnson (1979) mostram que os Jatos de Nível Superior (JNS) e os JNB podem estar freqüentemente acoplados pelos ajustamentos de massa na vertical, que ocorre com a propagação dos mesmos. Ainda de acordo com Uccellini e Johnson (1979) este transporte na baixa troposfera ajuda a criar um ambiente favorável para o desenvolvimento de trovoadas severas, especialmente quando a interação dos jatos ocorre através da interseção dos eixos de forma perpendicular na horizontal e ocorrendo dentro da região de saída dos JNS's.

Conforme Chin e Wilhelmson (1998) estes processos de transporte em baixos níveis na troposfera, associados ou não à circulação que esta ocorrendo na alta troposfera em latitudes médias, geram uma estrutura complexa, produzindo tempestades e intensa precipitação.

No trabalho de Chen et al. (1996) a ocorrência de uma frontogênese rápida associada a uma onda curta em níveis médios na troposfera, apresenta a formação de um JNB sobre a região de advecção. O aquecimento gerado pelo calor latente resulta em incremento na espessura da camada adiante do cavado de onda curta. Ainda conforme Chen et al. (1996) o JNB desenvolve-se através da atuação da força de Coriolis no fluxo do vento ageotrófico, em resposta ao incremento do gradiente de pressão relacionado ao desenvolvimento do ciclone, sendo realçado pelo aquecimento gerado pelo calor latente. Os aquecimentos pela condensação e a advecção de calor excedem o resfriamento adiabático, gerado pela expansão, à frente do ciclone na baixa troposfera. Em contrapartida o resfriamento gerado pela evaporação e a advecção fria excede o aquecimento adiabático atrás do ciclone na baixa troposfera. Portanto em ambas situações realçam a baroclinidade em nível baixo e a interação destes processos não-lineares leva a uma maior intensificação dos JNB e de convergência de vapor de água na Camada Limite Planetária (CLP).

No sul do Brasil, Corrêa (2005) observou em dados de radiossondagem realizadas em Porto Alegre e Uruguaiana uma estrutura dinâmica de fluxos/JNB no processo de transporte em baixos níveis. Concluiu que os perfis verticais do vento em baixos níveis na troposfera participam de diferentes escalas espaciais e temporais, caracterizando uma riqueza de combinações de estruturas na CLP e da baixa atmosfera, interligando meso para meso escala e meso para escala continental. Tal estrutura dinâmica em baixos níveis na atmosfera resulta numa estrutura estratificada, na qual existe tanto a influência do nível de 850 hPa como o de 950 hPa para os sistemas convectivos sobre o Rio Grande do Sul. Portanto busca-se neste estudo comprovar a importância do nível de 950 hPa na intensificação do Índice K, através do uso de técnica estatística multivariada para reconhecimento de padrões em grupo de dados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Com base nos dados diários de precipitação da estação meteorológica de superfície e de radiossondagens (realizadas em dois horários às 09:00 e 21:00 horas), na estação meteorológica de altitude no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre. Os dados de radiossondagem foram coletados pelo equipamento W-9000 produzido pela VIZ – “Manufacturing Company USA”, o qual realiza a telemetria dos dados com uso de satélites geoestacionários e também pode gerar dados em alta resolução (espessuras da ordem de 50 metros ou menos). O período analisado abrangeu os dias 18 de julho a 10 de dezembro de 2005, totalizando 176 dias.

Calculou-se o Índice K no nível de 850hPa para as sondagens nos dois horários (09:00 e 21:00 horas) com a seguinte fórmula: $[(\text{Temperatura do ar em 850 hPa} - \text{Temperatura do ar em 500 hPa}) + (\text{Temperatura do Ponto de Orvalho de 850 hPa} - (\text{Temperatura do ar de 700 hPa} - \text{Temperatura do Ponto de Orvalho de 700 hPa}))]$. Também foi usado um novo Índice K, denominado K 950 hPa, substituindo na fórmula anterior as temperaturas de 850 hPa pelas que ocorreram no nível de 950 hPa na radiossondagem. Montou-se uma matriz W com cinco variáveis: precipitação, Índice K 850 hPa as 21:00 horas, Índice K 850 hPa as 09:00 horas, Índice K 950 hPa as 21:00 horas e Índice K 950 hPa as 09:00 horas. Tratou-se as séries temporais dos Índices K's com um filtro composto pela média móvel de dois pontos da série temporal, pois o uso deste filtro caracteriza o período de doze horas, pois se buscou representar escalas tempo desta ordem.

Utilizou-se um programa estatístico GenStat® para analisar a matriz W através da técnica Não-Hierárquica de K médias com dispersão de n classes, utilizando um critério de análise que minimize o determinante da matriz W com seus grupos. Desta maneira assume-se que os dados originam-se de

uma mistura de n distribuições normais multivariáveis, com igual matriz Variância-Covariância (VC). A Máxima Verossimilhança da matriz VC é obtida dentro das n classes quando é minimizado o determinante da matriz W, obtendo grupos compactos, MacQueen (1967). Utilizou-se a divisão dos grupos em 10 classes resultando na identificação de padrões dominantes, em que a seleção do número de classes foi obtida através de várias tentativas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os perfis da temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e o perfil vertical do módulo do vento para a noite do dia 02 de agosto de 2005 às 2100 horas. O perfil vertical do vento apresentou valores fracos na superfície que foram gradualmente intensificando-se em altitude e não apresentam a existência de fluxos ou JNB. Os Perfis de temperatura do ar e do ponto de orvalho mostram uma estrutura de CLP comum.

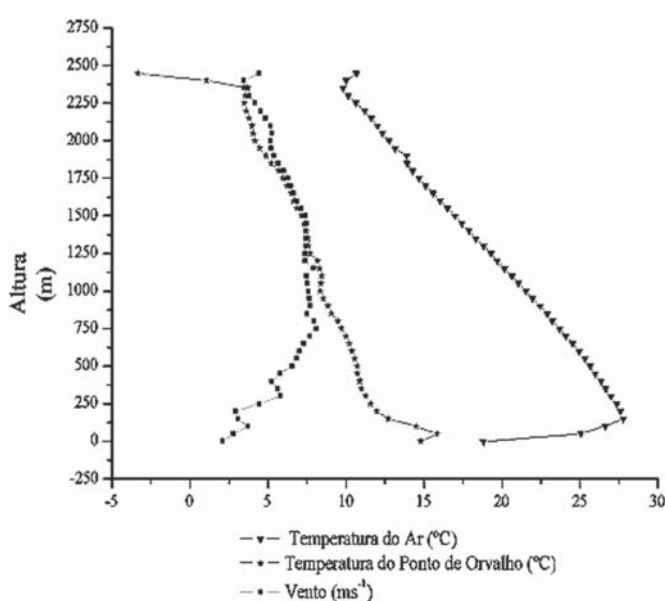


Figura 1 – Perfil vertical do vento, temperatura do ponto de orvalho e temperatura do ar no dia 02 de agosto de 2005 às 21:00 horas local, no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

Na Figura 2 apresentam os perfis da temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e o perfil vertical do módulo do vento para a noite do dia 03 de agosto de 2005 às 0900 horas. O perfil vertical do vento apresenta valores fracos na superfície que vão intensificando-se em altitude atingindo um valor máximo da ordem de 11 ms⁻¹, caracterizando um fluxo entre 250 a 500 metros. Tal perfil vertical não caracteriza uma estrutura de JNB. Podemos defini-lo como um fluxo no perfil vertical do vento, não apresentando na sua estrutura vertical o

efeito de desacoplamento das camadas, que ocorre em um JNB, no qual abaixo do seu núcleo do JNB, apresenta o aumento da velocidade a partir da superfície e acima do seu núcleo apresenta decaimento significativo da velocidade do módulo do vento, o seu decaimento deve ser proporcional à magnitude do JNB. Quando maior a magnitude do JNB maior deve ser o decaimento da velocidade acima do núcleo do JNB. Porém neste fluxo tal efeito não ocorreu e um fluxo pode atingir velocidades da ordem de um JNB.

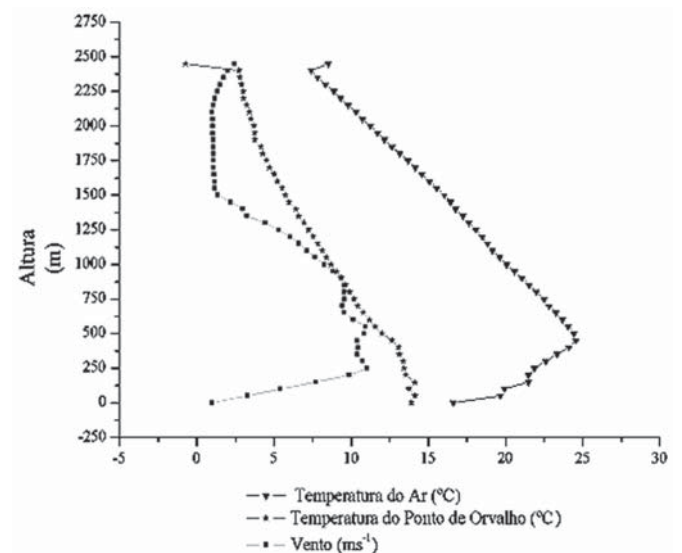


Figura 2 – Perfil vertical do vento, temperatura do ponto de orvalho e temperatura do ar no dia 03 de agosto de 2005 às 09:00 horas local, no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

Esta variação no perfil vertical do vento, entre as 2100 horas da noite e às 0900 horas da manhã, tem muita importância, pois demonstra um importante mecanismo noturno, descrito por Blackadar (1957) no qual a ausência dos grandes turbilhões leva ao desacoplamento entre as partes da camada, gerando muitas vezes um fluxo supergeostrófico. Em latitudes médias, entre 20 e 40 graus, o transporte associado aos fluxos/JNB pode predominar em escalas temporais da ordem de 6 a 12 horas. Smith e Mahrt (1981), indicam a latitude de 30 graus como a latitude em que a resposta da camada limite é máxima e a frequência dos forçantes é igual ao parâmetro de Coriolis. Alguns pesquisadores, como Paegle e McLawhon (1983), sugerem uma fase de aproximadamente de 10 horas entre 20 a 40 graus de latitude.

Kraus et al. (1985) mostra os seguintes fatores: a baroclinicidade em escala sinótica associada às situações meteorológicas, a baroclinicidade associada com superfícies inclinadas, às acelerações advectadas no campo do vento, as canalizações e confluências ao entorno de barreiras montanhosas, a circulação de brisa de terra e mar, os ventos de montanha e vale e

as oscilações inerciais no campo do vento. Estes forçantes em conjunto ou isolados podem gerar diferentes intensidades de escalas espaciais e intensidades de fluxos/JNB's. Tal efeito no perfil do vento é muito comum para latitudes do Rio Grande do Sul (Porto Alegre localiza-se em 30 graus de latitude).

Na Figura 2 o perfil da temperatura do ponto de orvalho mostra um aumento de temperatura entre as 2100 horas até às 0900 horas da manhã, na altura de 500 metros uma diferença da ordem de três graus centígrados. Este transporte que ocorreu durante a noite é muito freqüente e pode atingir valores de advecção mais intensos. Resultando no aumento da camada úmida na baixa troposfera. Esta altura de 500 metros corresponde a altura de 950 hPa em nível de pressão. Portanto o cálculo do valor do Índice K com o uso da temperatura do nível de pressão de 850 hPa, fica de fora a advecção de calor e vapor de água que ocorreram no nível de pressão em 950 hPa, portanto subestimando o valor do Índice K, deixando de diagnosticar e prever a possibilidade de formação de sistemas convectivos gerados pela atuação direta da CLP.

Na Tabela 1 apresenta os resultados da classificação do grupo de dados da serie temporal de precipitação e dos Índices K's calculados entre os níveis de 850 e 950 hPa e nos horários das 2100 e 0900 horas no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre no Rio grande do Sul.

Pode ser observado que as classes dois, três e quatro os valores de Índice K 950 às 0900 horas apresentam um valor calculado maior, mostrando que o mecanismo de advecção associado ao transporte realizado pelos fluxos /JNB é muito freqüente. Ocorrendo em 56 dias na serie temporal com 176 dias.

A classe dois mostrou tal efeito de advecção mais significativamente no nível de 950 hPa. Entre as 2100 horas o valor do índice K 850 hPa era negativo de menos nove (-9) e na manhã às 0900 horas o índice K 950 hPa era positivo de dezoito (18). Uma diferença de vinte e sete (27) pontos no índice. Porém às 0900 horas o valor do índice K 850 hPa era positivo de três (3), uma diferença de quinze (15) pontos no índice e uma precipitação associada nestes dias da ordem de dezenove (19) milímetros. Esta precipitação convectiva demonstra o transporte de massa e energia realizado no nível de 950 hPa caracterizando processo de convergência e de convecção através da CLP.

Na classe três os índices apresentam variações semelhantes tanto o de 850 e de 950 hPa mostrando o aumento do seu valor entre os valores das 2100 horas para as 0900 horas da manhã, com uma menor diferença entre os índices da ordem de dez (10) pontos do índice e uma precipitação associada nestes dias da ordem de doze (12) milímetros.

Nas demais classes ocorreram uma variação da ordem de 10 pontos no índice K entre as 2100 e 0900 horas da manhã, não caracterizando para Porto Alegre ocorrência de precipitação.

Tais resultados mostraram que os processos de convecção são compostos por diferentes sistemas meteorológicos com diferentes escalas espaciais e temporais, apresentando uma estrutura vertical estratificada na qual ocorre a contribuição de diferentes escalas meteorológicas na geração e manutenção da convecção na baixa troposfera. Os índices K's refletiram a atuação dos dois níveis (850 hPa e 950 hPa), porém mostrou que determinados sistemas convectivos a advecção de calor e vapor de água predomina o transporte no nível de 950 hPa.

Tabela 1 – Resultado da análise da classificação Não-Hierárquica da matriz W com as suas K médias.

Classe	Precipitação (mm)	K 850 hPa 21:00 horas	K 950 hPa 21:00 horas	K 850 hPa 09:00 horas	K 950 hPa 09:00 horas	Nº Obs.
1	37	21	30	23	33	9
2	19	-9	8	3	18	5
3	12	17	27	24	31	15
4	1	7	26	21	29	16
5	1	27	37	22	33	25
6	0	18	28	13	21	25
7	0	14	17	12	20	17
8	0	9	21	-7	12	21
9	0	-2	9	-3	7	27
10	0	-6	13	-4	9	16

4. CONCLUSÕES

O estado do Rio Grande do Sul apresenta um relevo e uma posição geográfica que favorece a existência de fluxos/JNB. Tal estrutura complexa de transporte turbulento na baixa troposfera pode apresentar determinadas características dinâmicas, ao nível de meso escala, que dificultam a previsão do tempo. Como os modelos numéricos operacionais atuais não conseguem simular com a resolução necessária e não existe uma malha de estações meteorológicas de altitude que gere os dados com a resolução vertical necessária (da ordem de dezenas de metros) para a simulação dos sistemas convectivos de meso escala. O uso do índice K com o cálculo dos dois níveis de 850 e 950 hPa, e a diferença do índice em módulo, pode ser muito útil como uma análise diagnóstica, caracterizando o transporte de calor e de vapor de água no nível de 850 e 950 hPa.

Esta metodologia permite reconhecer a importância dos fluxos/JNB que estão associados ao transporte no nível de 950 hPa e a convergência de massa associado a este processo dinâmico e estratificado (nos níveis de 850 hPa e 950 hPa) na baixa atmosfera, desempenhando importante papel na geração de convecção e precipitação no período noturno.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACKADAR, A. K. Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 38, p. 283-290, 1957.
- BONNER, W. A. Climatology of the low level jet. **Monthly Weather Review**. v. 96, p. 833-850, 1968.
- CHEN, Y., CHEN, X. A., CHEN, S. e KUO, Y.. A Numerical Study of the Low-level Jet during TAMEX IOP 5. **Monthly Weather Review**. v. 125, n. 10, p. 2583-2604, 1996.
- CHIN, H.-N. S. e WILHELMSON, R. B.. Evolution and structure of tropical squall line elements within a moderate CAPE and strong low-level jet environment. **Journal of Atmospheric Sciences**. v. 55, n. 20, p. 3089-3113, 1998.
- CORRÊA, C. S., Estudo estatístico da ocorrência de jatos no perfil vertical do vento na baixa atmosfera e a sua relação com eventos de intensa precipitação pluvial no Rio Grande do Sul. UFRGS, 2005. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- KRAUS, H., MALCHER, J. e SHALLER, E.. Nocturnal low-level jet during PUKK. **Boundary-Layer Meteorological**. v. 31, p. 187-195, 1985.
- LACKMANN, G. M.. Cold-frontal potential vorticity maxima, the low-level jet, and moisture transport in extratropical cyclones. **Monthly Weather Review**. v. 130, p. 59-74, 2002.
- MACQUEEN, J. B.. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. **Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability**. Berkeley, University of California Press, v. 1, p. 281-297, 1967.
- PAEGLE, J. A. e MCLAWHORN, D. W.. Numerical modeling of diurnal convergence oscillations above sloping terrain. **Monthly Weather Review**. v. 111, p. 67-85, 1983.
- PARSONS, D. B., SHAPIRO, M. A. e MILLER, E.. The mesoscale structure of a nocturnal dryline and of a frontal-dryline Merger. **Monthly Weather Review**. v. 128(11), p. 3824-3838, 2000.
- SMITH, B. e MAHRT, L.. A study of boundary layer pressure adjustments. **Journal of Atmospheric Sciences**. v. 38, p. 334-346, 1981.
- STENSRUD, D. J.. Importance of low-level Jets to Climate: A Review. **Journal of Climate**. V. 9, p. 1698-1711, 1996.
- UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D. R.. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective systems. **Monthly Weather Review**. v. 107, n. 6, p. 662-703, 1979.
- WHITEMAN, C. D., XINDI B. e SHIYUAN Z.. Low-level jet climatology from enhanced Rawinsonding observations at a site in the Southern Great Plains. **Journal of Applied Meteorology**. v. 36, p. 1363-1376, 1997.
- WHITING, R. M.; BAILEY, R. E., Some Meteorological Relationships in The Prediction of Tornadoes. **Monthly Weather Review**. v. 85, n. 5, p. 141-150, 1957.