

Índice de instabilidade K: ferramenta de previsão de trovoadas para o aeródromo do Campo dos Afonsos?

Instability index K: tool for the prediction of thunderstorms forecast for the aerodrome Campo dos Afonsos?

Luiz Carlos dos Santos Filho
Tenente-Coronel Esp. Met
Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica
Rio de Janeiro - RJ
lucasafi05@bol.com.br
Av. Mal Fontenelle, 1200 – ECEMAR – CEP 21740-002

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do índice de instabilidade K obtido no aeródromo do Galeão, para ser utilizado como ferramenta de previsão de trovoadas no aeródromo do Campo dos Afonsos. Para isso, foram selecionados três períodos chuvosos dos meses de dezembro a março dos anos de 2007 a 2011, com os dados de observações meteorológicas de superfície (METAR) e das mensagens especiais selecionadas (SPECI) do Campo dos Afonsos entre 1700 e 2300 horas do Tempo Universal Coordenado (UTC) e os índices K do Galeão das 1200 UTC. Posteriormente, através de uma tabela de contingência, foram comparados os dados observados do Campo dos Afonsos com os dados previstos através do índice K do Galeão. Com o auxílio dos índices de verificação, os resultados mostraram que, quando o índice K for maior que 25 não há relação com a ocorrência de trovoadas no Campo dos Afonsos. Na análise do índice K menor ou igual a 25, foi encontrado um razoável percentual de acerto (55%), constatando-se que, para esses valores de K, a previsão de **não** ocorrências de trovoadas no Campo dos Afonsos é válida, porém com certa restrição. Concluindo-se que a utilização do índice K como ferramenta de previsão de trovoadas para esse aeródromo possui baixa confiabilidade.

Palavras-chave: Instabilidade. Índice K. Previsão de Trovoadas e Tabela de Contingência.

ABSTRACT:

This work aims to evaluate the efficiency of the instability index K obtained at the Galeao airfield to be used as a tool for forecasting thunderstorms in the Campo dos Afonsos airfield. For this, we selected three months of the rainy season, from December to March for the years 2007-2011, with data from surface weather observations (METAR) and special messages selected (SPECI) from Campo dos Afonsos between 1700 and 2300 hours - Universal Coordinated Time (UTC) and K indices from Galeão of 1200 UTC. Later, through a contingency table, we compared the observed data at Afonsos with the data provided through the K index of the Galeão. With the help of the index scan the results showed that when the index is greater than 25 K there is no relation with the occurrence of thunderstorms in the Campo dos Afonsos. If the analysis of the K index was less than or equal to 25 a reasonable percentage of accuracy was observed (55%), finding that for these values of K, the prediction of no instances of lightning in the Campo dos Afonsos is valid, but with some restriction. It was concluded that using the K index as a tool for forecasting thunderstorms for this airfield has low reliability.

Keywords: Instability. Index K. Forecast Thunderstorms and Contingency Table

INTRODUÇÃO

Os fenômenos meteorológicos afetam as operações aéreas em todas as suas fases de voo e são constantes preocupações dos previsores dos centros meteorológicos aeronáuticos. Na visão da meteorologia aeronáutica, as trovoadas estão entre esses principais fenômenos meteorológicos e são definidas como formações convectivas severas originadas das nuvens cumulonimbus (CB). Para a aviação, as nuvens CB são consideradas de alto risco, tendo em vista que geralmente estão associadas às tempestades e podem provocar redução de visibilidade, turbulências, rajadas de vento fortes, chuvas intensas, descargas elétricas e outras manifestações relevantes, podendo ocasionar incidentes ou mesmo acidentes aeronáuticos.

No Brasil, no período de 2001 a 2010, segundo estatísticas do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), cerca de 15% dos casos de acidentes aeronáuticos registrados na aviação civil, foram ocasionados por Condições Meteorológicas Adversas. Vale salientar que na Aviação Geral, a meteorologia foi responsável por 51,5% dos acidentes, conforme divulgado no site do CENIPA (BRASIL,2012).

Diante da potencial ameaça que representa as trovoadas, uma previsão meteorológica precisa é de extrema importância para a segurança das operações aéreas, possibilitando a elaboração de avisos ou mensagens que contribuem para evitar ou minimizar os efeitos negativos que porventura possam acontecer.

Uma das ferramentas empregadas para auxiliar na confecção da previsão de formação de trovoadas é a utilização dos índices de instabilidade calculados a partir dos dados de ventos, temperatura, umidade do ar, coletados de vários níveis da atmosfera e plotados em diagramas termodinâmicos., de acordo com Brasil (1969).

Conforme descritos por Nascimento (2005), existem vários índices de instabilidade utilizados para previsões de formações convectivas severas ou não severas, sendo os mais conhecidos e desenvolvidos nos seguintes anos: Showalter (IS-1947), Instabilidade por Levantamento (LI-1956), Índice K (1960), o Índice da Energia Potencial Convectiva Disponível (CAPE-1993), *Severe Weather Threat*

(SWEAT-2000), Total Totals (TT-2005). Esses índices são utilizados mundialmente e possuem ampla fundamentação teórica e científica.

Apesar de serem bastante empregados como ferramentas de previsão, ainda é baixo o número de pesquisas realizadas para analisar a eficiência desses índices no âmbito da Força Aérea Brasileira, particularmente quando se refere a utilização do índice obtido das radiossondagens realizadas em um local para análise e previsão de tempo de outro local.

Destarte, este trabalho tem como objetivo verificar a eficiência da previsão das formações de trovoadas no aeródromo do Campo dos Afonsos utilizando o índice de instabilidade atmosférico, conhecido como índice K, com base nos valores obtidos no aeródromo do Galeão e suas proximidades.

Para os propósitos deste trabalho serão analisados os índices K das 1200 referente ao Tempo Universal Coordenado (UTC) e verificados a sua previsibilidade através das observações meteorológicas coletadas no Campo dos Afonsos, nos horários das 1700 UTC às 2300 UTC.

A amostra dos dados coletados refere-se a três períodos chuvosos: dezembro 2007 a março 2008, dezembro 2008 a março 2009 e dezembro 2010 a março 2011, dos aeródromos citados anteriormente, tendo em vista que as trovoadas ocorrem em sua grande maioria nesses meses, conforme Silva Dias (2008).

Observa-se que os meses de dezembro 2009 a março 2010, foram excluídos da amostra e substituídos pelos meses de dezembro de 2007 a março de 2008, devido à ausência dos dados das radiossondagens do Galeão, que inviabilizariam o cálculo do índice K e conseqüentemente as análises para esses períodos.

Foram estabelecidas duas hipóteses baseadas nos valores de K, buscando comprovar a previsibilidade da formação ou não das trovoadas.

O aeródromo Campo Délio Jardim de Mattos, também conhecido por aeródromo do Campo dos Afonsos, situado na cidade do Rio de Janeiro, localiza-se nas coordenadas 22°52 S/043°23W, está a 34 metros de altitude. O aeródromo do Galeão, também localizado no Rio de Janeiro situa-se nas coordenadas 22°48S/043°15W, a 9 metros de altitude.

É importante frisar que a utilização do índice K do Galeão prende-se ao fato de ser o aeródromo mais próximo do Campo dos Afonsos, situado a cerca de 20

quilômetros de distância e de não haver lançamentos de radiossondas nesse aeródromo, devido ao alto custo que envolve essa operação.

Cabe ressaltar que esse trabalho não tem a intenção de mostrar que essa ferramenta de previsão seja utilizada como a única para prognósticos de eventos convectivos severos, como as trovoadas. O índice K, assim como outros índices, é capaz de apontar condições potencialmente favoráveis à ocorrência de tempestades que podem ser severas ou não. A importância de um índice está em alertar o previsor para focar uma área ou região, valendo-se também de outros métodos de previsão.

1 REVISÃO DA LITERATURA

Preliminarmente, foram realizadas pesquisas nas literaturas concernentes ao assunto, devido a abrangência que representa o índice de instabilidade K, pois o seu estudo envolve diversos parâmetros meteorológicos, como as observações de superfície e de altitudes, análises meteorológicas realizadas através de diagramas termodinâmicos, entre outros.

1.1 Observações meteorológicas de superfície

A descrição completa das condições meteorológicas observadas à superfície em um aeródromo e suas vizinhanças, ou seja, até um raio de 8 quilômetros, é conhecida como mensagem METAR. Essa mensagem é coletada e reportada, regularmente, de hora em hora, nas Estações Meteorológicas de Superfície chamadas de EMS. Quando ocorrem variações significativas nas condições de tempo entre os intervalos das observações regulares (METAR), são realizadas observações especiais denominadas de SPECI.

As mensagens METAR e SPECI são padronizadas e possuem informações, conforme se encontram estabelecidas em (BRASIL, 2010): grupos de identificação; direção e velocidade do vento à superfície; visibilidade, alcance visual da pista (quando houver); tempo presente; nuvens (ou visibilidade vertical, se for o caso); temperatura do ar e do ponto de orvalho; e pressão atmosférica (QNH).

A figura 1 apresenta alguns exemplos de mensagens METAR e SPECI que foram utilizadas neste trabalho (destacadas na cor cinza), do aeródromo do Campo dos Afonsos. Através delas são inseridas no grupo do tempo presente, as observações das trovoadas (TS). Essas mensagens também destacam as nuvens CB acompanhadas da quantidade e altura das suas bases.

22/12/2010	SBAF	221800Z	17015KT	9999	SCT020	BKN080	28/20	Q1010=
22/12/2010	SBAF	221900Z	19013KT	9000	TS	BKN020	FEW025CB	BKN080 27/19 Q1009=
22/12/2010	SBAF	222000Z	18007KT	8000	BKN017	BKN080	26/19	Q1009 RETS=
22/12/2010	SBAF	222100Z	23007KT	6000	BKN017	BKN080	24/19	Q1010=
22/12/2010	SBAF	222111Z	25008KT	2500	RA	BKN030	BKN070	24/20 Q1010=
22/12/2010	SBAF	222113Z	25008KT	2500	RA	BKN010	BKN070	24/20 Q1010=
22/12/2010	SBAF	222200Z	27013KT	2000	-TSRA	BKN010	FEW025CB	23/20 Q1012=

Figura 1: Sequência de METAR e SPECI do aeródromo do Campo dos Afonsos.

Fonte: [http:// www.redemet.aer.mil.br](http://www.redemet.aer.mil.br) acessado em 29/04/2012.

1.2 Nuvem cumulunimbus e trovoadas

No contexto das mensagens meteorológicas referentes às condições observadas em um aeródromo, os registros das nuvens cumulunimbus e trovoadas são essenciais para a segurança dos procedimentos de aproximação, pouso e decolagem das aeronaves.

Segundo Matschinske (2006), a nuvem CB é formada a partir do processo de ascensão do ar quente, numa atmosfera instável, resultante do desenvolvimento vertical das nuvens cumulus. O seu topo apresenta um formato achatado em forma de bigorna. Também chamada de nuvem de temporal, são frequentemente acompanhadas de fortes pancadas de chuva, raios, trovoadas, granizo, fortes rajadas de vento e, às vezes, tornados. Elas ocorrem isoladamente ou em grupos. A energia liberada na condensação das gotas resulta em fortes correntes ascendentes e descendentes no interior da nuvem.

As trovoadas consistem em um grupo de células convectivas, cada uma das quais podendo estar num diferente estágio de desenvolvimento. O ciclo de vida de uma dessas células pode ser dividido em três estágios: cumulus, madureza e

dissipação. No estágio cumulus, as correntes ascendentes se manifestam em toda a nuvem. O estágio maduro, conforme ilustrado na figura 2, inicia quando a precipitação atinge o solo, existindo na nuvem, áreas de correntes ascendentes, descendentes e descargas elétricas. As correntes descendentes são beneficiadas pela precipitação, podendo haver dentro da nuvem granizo ou saraiva. No estágio de dissipação a nuvem se degenera em fracas correntes descendentes, conforme Riehl,(1965). O fenômeno da trovoada é identificado em termos de sua manifestação elétrica, conhecida como relâmpago (BRASIL, 2008a; VAREJÃO-SILVA, 2006).

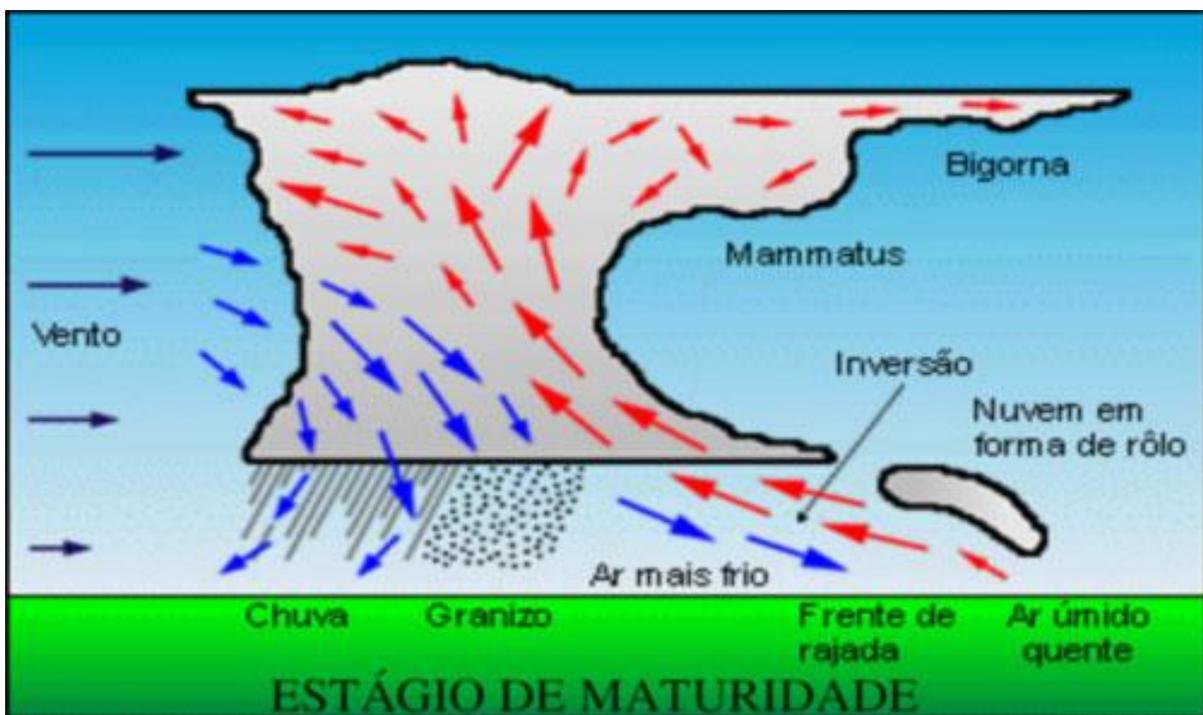


Figura 2: Estágio de maturidade da nuvem cumulonimbus.

Fonte: <http://guiadevoo.com> acessado em 26/05/2012

1.3 Observações meteorológicas de altitude

As observações meteorológicas de altitude, também conhecidas como observações meteorológicas do ar superior, são realizadas por meio das radiossondas transportadas por balões meteorológicos. Durante a ascensão os sensores da radiossonda captam e transmitem os dados referentes à temperatura, pressão, umidade do ar, direção e velocidade do vento. Os equipamentos em terra recebem e processam os dados e ainda elaboram as mensagens conhecidas por

TEMP e PILOT que são transmitidas para vários centros meteorológicos nacionais e internacionais. (BRASIL, 2011).

Essas mensagens são plotadas em diagramas termodinâmicos, permitindo ao previsor analisar o comportamento da atmosfera. O diagrama permite a elaboração de várias análises, entre elas, o cálculo de vários índices de estabilidade ou instabilidade atmosférica (BRASIL, 2012). No âmbito do Comando da Aeronáutica, o diagrama mais usado nos centros meteorológicos é o diagrama *Skew T Log P*, conforme mostra a figura 3.

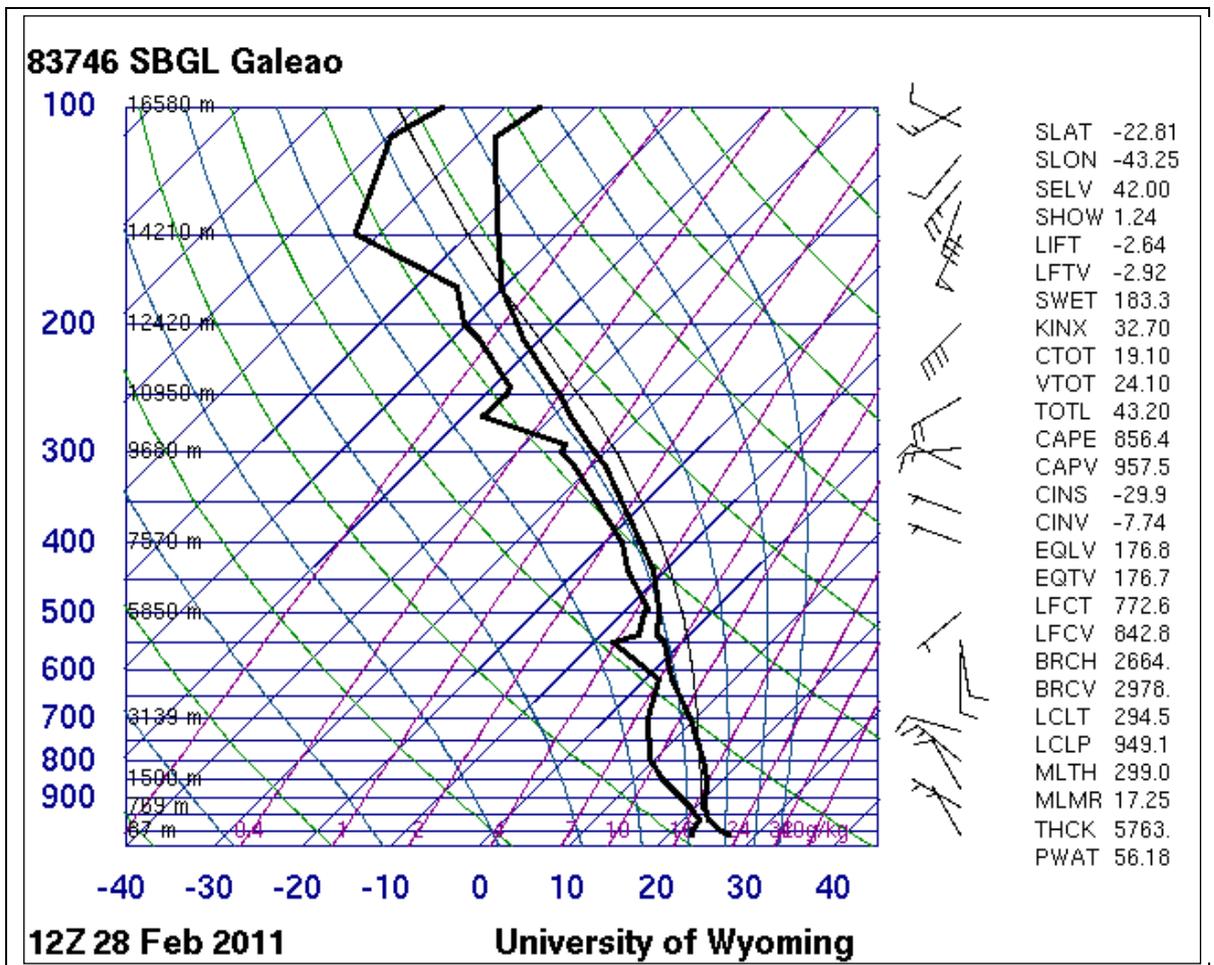


Figura 3: Diagrama SKEW-T Log P

Fonte: <http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> acessado em 29/04/2012.

1.4 Diagrama termodinâmico *SKEW T LOG P*

Existem vários tipos de diagramas que expressam as mesmas relações físicas e a conveniência entre área e a energia termodinâmica, apenas diferindo na disposição das linhas entre uns e outros. Têm a finalidade de analisar a estrutura vertical da atmosfera, bem como as possíveis transformações termodinâmicas que o ar atmosférico está sujeito. Estas transformações são facilmente visualizadas através das linhas existentes nos diagramas, sendo as principais: isóbaras, isotermas, adiabáticas secas, adiabáticas saturadas e linhas de razão de mistura, conforme estabelecidas em Brasil (1969).

O diagrama *Skew T Log P*, cujo significado é temperatura inclinada e logaritmo de pressão, é um dos mais utilizados devido à facilidade de emprego dos vários procedimentos de análises meteorológicas (BRASIL, 1969). Foi criado pelo meteorologista norueguês N.Herlofsom, que o desenvolveu baseando-se no diagrama conhecido por Emagrama, que possui as linhas de temperatura constantes (isotermas) inclinadas em 45° da vertical em relação ao eixo das abcissas, enquanto que no eixo das ordenadas a pressão atmosférica está representada em escala logarítmica.

Através desse diagrama é possível realizar uma grande variedade de análise meteorológica, visando diagnosticar e prognosticar as condições de tempo reinantes em uma localidade ou área, ou seja, conhecer as massas de ar que estão atuando em uma região, os ventos significativos, as nuvens, as formações de gelo e turbulências e as estabilidades ou instabilidades atmosféricas.

1.5 Índices de instabilidade

Segundo o Manual de Análise do Diagrama *Skew T Log P* “a estabilidade ou instabilidade da atmosfera pode ser expressa sob a forma de um valor numérico, denominado de índice de instabilidade.” (BRASIL, 1969, p. 56). Esses índices são importantes para auxiliar os previsores na elaboração de seus prognósticos de tempo e foram estudados durante muitos anos por vários pesquisadores.

De acordo com Escobar e Andrade (2007), os índices de instabilidade são indicativos da intensidade da tempestade, sendo úteis na previsão de eventos extremos, pois analisam a estrutura vertical da atmosfera com relação à temperatura e a umidade do ar.

Estudos sobre os índices de instabilidade são realizados devido a sua eficiência e pela forma fácil de serem calculados, sendo eles de grande utilidade para a previsão de tempo. Cada índice possui valores padrões obtidos através de pesquisas e indicam a intensidade e os prováveis locais com maiores chances de ocorrência das tempestades e as trovoadas a elas associadas.

É importante ressaltar que os índices foram desenvolvidos para as latitudes médias do hemisfério norte, porém são estudados e aplicados nas latitudes tropicais e subtropicais, conforme trabalhos realizados por Beneti e Silva Dias (1986), Fogaccia e Pereira Filho (2002), Nascimento e Calvetti (2004), Moreira e Tuchenhagen (2008) e outros pesquisadores.

Fogaccia e Pereira Filho (2002) analisaram os índices de instabilidade para a região de São Paulo, focalizando nos sistemas convectivos de maior impacto para aviação, obtendo significativos resultados.

Segundo Lima (2005) os índices utilizados combinados com outros índices ou usados individualmente, são de grande utilidade para análise das características sinóticas de uma área ou região, conforme mostrado em seu trabalho na aplicabilidade do índice K para a região tropical (cidade de Maceió- AL).

1.6 Índice K

Vários pesquisadores estudaram o índice de instabilidade K e chegaram a conclusões convincentes. Entre eles, o Whiting (1957), afirmou que o índice K tende a alcançar um nível de correção bem superior a outros métodos de previsão de trovoadas.

Segundo Nascimento (2005) o índice K tem a melhor possibilidade de captar condições favoráveis a ocorrências de tempestades típicas de regiões tropicais e deve ser pesquisado, visando uma maior divulgação operacional.

Henry (1987) pesquisou o K como ferramenta de previsão e concluiu que os valores acima de 30 são considerados altos, ou seja, possui alto potencial para a ocorrência de tempestades e acima de 40 são extremamente altos (potencial extremo para a ocorrência de trovoadas).

De acordo com Silva Dias (2008), os índices de instabilidade são utilizados com frequência nos centros meteorológicos, dando uma atenção especial a tempestades e fenômenos de mesoescala (10 até 100 km de diâmetro). Em seu trabalho, analisou alguns índices para a previsão de trovoadas no aeródromo do Galeão. Entre eles, o índice K que alcançou uma taxa de acerto de previsão de 62%, quando estipulou como valor de referência o K maior ou igual que 35.

Outros trabalhos foram realizados visando comprovar a eficiência do índice K. Conforme Moreira e Tuchtenhagen (2008), os resultados apontaram para a viabilidade de emprego do índice para prever ocorrências de tempestades para as regiões oeste e sul do Rio Grande do Sul.

O índice de instabilidade K é o mais utilizado no âmbito da FAB, sendo objeto de análises diárias dos previsores dos vários centros meteorológicos da Aeronáutica, conforme preceitua o (BRASIL, 2012) que estabelece normas para elaborar esses procedimentos operacionais e preparação das cartas de previsão de tempo, incluindo as trovoadas. O índice K tem a sua aplicação restrita a previsão de trovoadas de massas de ar, isto é, aquelas que ocorrem como resultado do movimento vertical de uma parcela de ar, devido ao aquecimento local ou efeito orográfico que essa parcela está sujeita ao elevar-se pela encosta de uma montanha.

2 METODOLOGIA

Elaborou-se este trabalho com os dados obtidos dos períodos chuvosos do aeródromo do Campo dos Afonsos e Galeão, pelo fato de apresentarem valores máximos de K, conforme análise climatológica dos índices de instabilidade estudados por Escobar e Andrade (2007), que constataram: “os valores de K associados à variação de temperatura e umidade do ar, apresentando os valores

máximos na estação chuvosa que acontece nos meses de verão para as Regiões Centro-Oeste e Sudeste”.

Para realizar este estudo, adotou-se como base o trabalho desenvolvido por Silva Dias (2008), quando analisou o emprego do índice K para prever as trovoadas no aeródromo do Galeão, considerando-se os bons resultados alcançados por ele.

Segundo George (1960) o índice K é uma medida do potencial de instabilidade baseado na taxa vertical de variação de temperatura (*lapse rate*), no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão vertical da camada úmida sendo definido pela seguinte equação:

$$K = T850 - T500 + Td850 - Dep700$$

Onde:

- T850 e T500 são respectivamente as temperaturas do ar nos níveis de 850 hPa e 500 hPa;
- Td850 é a temperatura do ponto de orvalho em 850 hPa e
- Dep700 é a depressão de temperatura no nível de 700 hPa, ou seja, a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho no nível de 700 hPa.

As temperaturas têm os seus valores em graus Celsius. Os valores da equação são obtidos dos dados das radiossondagens plotados nos diagramas *Skew T Log P*. As pesquisas realizadas por George (1960) indicaram que quanto maior o valor do índice K, maior será a probabilidade da ocorrência das trovoadas. Elas apresentaram os seus valores conforme tabela 1.

Tabela 1: Valores do índice K.

Índice K	Condições associadas
20-25	Pouco favorável à formação de tempestades
26-29	50% de probabilidade de formação de tempestades esparsas
30-35	80% de probabilidade de formação de tempestades severas
>36	100% de probabilidade de formação de tempestades severas

Fonte: George (1960).

A partir da seleção das variáveis meteorológicas, foi construída a tabela 2 que exemplifica parte dos dados, com registros diários dos valores dos índices K, dos horários das 1200 UTC e os dias com ocorrência ou não das trovoadas entre as 1700 e 2300 UTC. Foram atribuídos os valores de 0 (zero) para não ocorrência e de 1 (um) para ocorrência do fenômeno. Também foram registrados os casos das trovoadas previstas e observadas, as previstas e não observadas, as não previstas e observadas e aquelas não previstas e não observadas.

Para efeito deste estudo, adotou-se como referência, os valores dos índices K estabelecidos por George (1960), formulando-se as seguintes hipóteses:

1. Considerando que o K com valores entre 20 e 25 são pouco favoráveis à formação de tempestades, conforme tabela 1, e as probabilidades para ocorrência de trovoadas associadas a valores de índices K iguais ou menores que 25, foram consideradas muito baixas, portanto, foi atribuída a hipótese de que, caso ocorram esses valores de K, as previsões serão de não ocorrência de trovoadas no aeródromo do Campo dos Afonsos.

2. Para os valores do índice K maiores que 25, as probabilidades, apresentam resultados maiores que 50%, (George, 1960). Portanto, serão consideradas significativas e conseqüentemente, foi atribuída a hipótese de que, caso ocorram esses valores de K, as previsões serão de ocorrências de trovoadas no Campo dos Afonsos.

Tabela 2: Registros diários dos valores de K e previsão/observação dos CB/TS.

DIA	INDICE K	CB/TS	PRE/OBS	PRE/Não OBS	Não PRE/OBS	Não PRE/Não OBS
01/12/2007	25.00	0	0	0	0	1
02/12/2007	3.21	0	0	0	0	1
03/12/2007	15.70	0	0	0	0	1
04/12/2007	30.10	0	0	1	0	0
05/12/2007	31.70	0	0	1	0	0
06/12/2007	33.70	0	0	1	0	0
07/12/2007	34.70	0	0	1	0	0
08/12/2007	34.90	0	0	1	0	0

Fonte: o autor (2012)

Adotando como base os dados apresentados na tabela 2, foi elaborada uma tabela de contingência padrão, de acordo Wilkis (1995 apud OLIVEIRA, 2002) que expressa o número de ocorrências das combinações entre a previsão e a observação. A metodologia utilizada para verificar o grau de acertos das previsões de trovoadas, consiste na comparação (sim ou não) entre previsão e a ocorrência do fenômeno. A tabela de contingência (tabela 3) é a base para o cálculo dos parâmetros estatísticos (índices de verificação) utilizados para avaliar a qualidade das previsões, tomando como referência os valores do índice K.

Tabela 3: Tabela de Contingência padrão

		OBSERVAÇÃO TS/CB		
		SIM	NÃO	TOTAL
PREVISÃO TS/CB	SIM	a	b	a+b
	NÃO	c	d	c+d
	TOTAL	To	Tno	T

Fonte: Wilkis (1995 apud OLIVEIRA, 2002).

Onde:

a- Total de eventos em que ocorreu TS/CB e foi corretamente previsto pelo método.

b- Total de eventos em que não ocorreu TS/CB e não foi corretamente previsto pelo método.

c- Total de eventos em que ocorreu TS/CB e não foi corretamente previsto pelo método.

d- Total de eventos em que não ocorreu TS/CB e foi corretamente previsto pelo método.

To- Total de dias de ocorrência de TS/CB.

Tno- Total de dias de não ocorrência de TS/CB.

T- Total de dias estudados.

A seguir serão apresentados os índices de verificação empregados para avaliar a relação entre as previsões e suas respectivas observações conforme Wilkis (1995 apud OLIVEIRA, 2002), usando os dados obtidos na tabela de contingência.

a) Razão de Bias (B) $\Rightarrow B = (a+b) / (a+c)$

É um índice de vício ou tendência. A razão de bias (B) é a relação entre o número de sim previstos com o número de sim observados. Ela indica uma possível tendência do sistema de previsão em superestimar, ou subestimar, a ocorrência de determinado evento. É importante que um sistema de previsão seja não tendencioso, ou seja, que sua razão de bias seja próxima da unidade. Bias maiores que 1 (um) indicam que o evento foi mais previsto do que o observado (superestimando) e Bias menores que 1(um) indicam que o evento foi mais observado que previsto (subestimado).

b) Taxa de acerto (*Hit hate*- H) $\Rightarrow H = (a+d) / (a+b+c+d)$

É uma medida de precisão que descreve a proporção de previsões corretas independentemente que seja ocorrência ou não do evento. O melhor é 1 (100% de acerto) e o pior H é zero (0% de acerto).

c) Razão de alarme falso (RAF) $\Rightarrow RAF = b / (a+b)$

É uma medida de precisão, que representa uma proporção de previsões de ocorrência de certo fenômeno que na verdade não se materializaram. O melhor RAF possível é zero (100% de correlação com o observado) e o pior RAF é 1 (0% de correlação com o observado).

3 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram selecionadas 2530 mensagens das observações meteorológicas de superfície para os horários regulares (METAR) e as observações meteorológicas selecionadas (SPECI), entre os horários das 1700 UTC às 2300 UTC, do aeródromo do Campo dos Afonsos obtidas através do site da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica-REDEMETS, conforme (BRASIL, 2012)

e 348 valores do índice K das 1200 UTC obtidos diariamente das radiossondagens atmosféricas do aeródromo do Galeão, disponibilizadas no banco de dados do site da Universidade de Wyoming-USA.

A figura 4 mostra um gráfico da normal climatológica, realizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com os valores de precipitação pluviométrica coletados para a cidade do Rio de Janeiro entre os períodos de 1961 a 1990. A referida figura aponta para um pico de precipitação média em torno de 130 a 140 milímetros, entre os meses de dezembro a março.

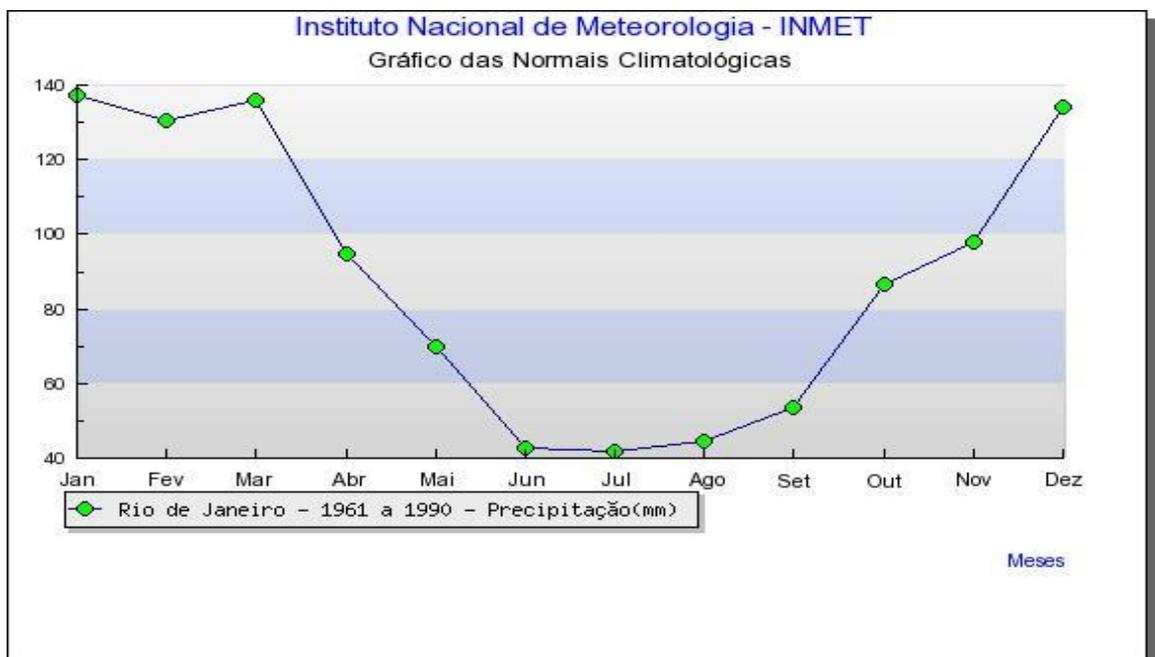


Figura 4: Gráfico de normais climatológicas de precipitação para o Rio de Janeiro.
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia- INMET acessado em 29/04/2012.

As análises comparativas dos dados observados e das previsões realizadas com o índice K foram elaboradas, por meio da tabela de contingência que resultou na tabela 4.

Tabela 4: Tabela de Contingência

		OBSERVAÇÃO TS/CB		TOTAL
		SIM	NÃO	
PREVISÃO TS/CB	SIM	66	190	256
	NÃO	1	91	92
	TOTAL	67	281	348

Fonte: o autor (2012)

Com base nos valores obtidos na tabela de contingência, calculou-se os parâmetros estatísticos descritos anteriormente conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Valores dos parâmetros estatísticos calculados

INDICE K	H	RAF	B
K>25	0,45	0,74	3,8
K<=25	0,55	0.01	-

Fonte: o autor (2012)

Fundamentados na 1ª hipótese, os índices de verificação H e RAF mostraram uma baixa taxa de acerto (45%) e uma alta razão de alarme falso (74%). A razão de BIAS apresentou um valor maior que a unidade (3,8) indicando que o método de previsão mostrou-se tendencioso, ou seja, superestimou os valores do índice K para a previsão de trovoadas. Portanto, a hipótese de que, quando o índice k for maior que 25 ocorrerão trovoadas no aeródromo do Campo dos Afonsos não é válida.

Para o caso da hipótese do índice K menor ou igual a 25 que acarretará em não previsão de trovoadas no aeródromo do Campo dos Afonsos, foi constatado que a taxa de acerto apresentou um valor considerado razoável (55%), enquanto a razão de alarme falso mostrou um percentual de apenas 1%. Portanto, esta hipótese é

considerada válida com restrição e recomenda-se que esse método não seja a única ferramenta utilizada para essa previsão.

Para a 2ª hipótese, a Razão de Bias não foi calculada, pelo fato de ser aplicada apenas para os fenômenos observados e previstos.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de verificar a eficiência do índice de instabilidade K para a previsão de trovoadas no aeródromo nos Campo dos Afonsos, utilizando os valores dos índices K do aeródromo do Galeão. Para o estudo, foram utilizados os dados das observações meteorológicas de superfície do aeródromo do Campo dos Afonsos e os índices K do aeródromo do Galeão, de três períodos chuvosos compreendidos entre: dezembro 2007 a março de 2008, dezembro 2008 a março de 2009, e por último, dezembro 2010 a março de 2011.

Para a análise dos dados foram estabelecidas duas hipóteses com o propósito de definir a metodologia do emprego do índice K, como ferramenta da previsão de trovoadas, determinando-se que, para os valores de K maiores que 25 implicaria na previsão de ocorrência de trovoadas no aeródromo do Campo dos Afonsos, e que para os valores de K menores ou igual a 25, corresponderiam na previsão da não ocorrência de trovoadas no aeródromo dos Afonsos.

Com base na Tabela de Contingência foram utilizadas ferramentas estatísticas a fim de avaliar a precisão da previsão do índice K através da taxa de acerto (H), a razão de alarme falso (RAF) e a razão de BIAS (B).

Os resultados constatam que a utilização da hipótese do índice K maior que 25, não foi satisfatório devido ao baixo valor do índice de acerto ($H=45\%$), o alto valor da razão de alarme falso ($RAF=74\%$) e ainda, indicando que o evento foi mais previsto do que observado, ou seja, houve uma superestimativa ($B=3,8$) do índice K para a previsão de trovoadas. Conseqüentemente, essa hipótese deverá ser refutada, portanto, não deverá ser utilizada para fins de previsão de trovoadas no aeródromo do Campo dos Afonsos.

O outro resultado referente à hipótese de que quando o índice K for menor ou igual a 25 não ocorrerá trovoadas, mostrou valor considerado razoável, tendo em vista ter apresentado um índice de acerto de 55% e apenas 1% de razão de alarme falso. Essa hipótese foi considerada válida, porém, recomenda-se que esse método não seja a única ferramenta utilizada para essa previsão.

Diante desses resultados e pelo fato de que o método utilizado mostrou-se pouco confiável, o autor sugere novas pesquisas sobre o emprego do índice K como ferramenta de previsão de trovoadas, para o aeródromo do Campo dos Afonsos, com valores superiores a 30 e ainda um maior número de períodos chuvosos, possibilitando apresentar resultados mais significativos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **FCA 105-3:** códigos meteorológicos METAR/SPECI. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

_____. Comando da Aeronáutica. **MCA 105-12:** manual de centros meteorológicos, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

_____. Comando da Aeronáutica. **MCA 105-9:** manual de estações meteorológicas de altitude, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

_____. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos- **CENIPA-** Disponível em: <<http://www.cenipa.aer.mil.br>> Acesso em: 28 abr.2012.

_____. Comando da Aeronáutica. Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica- **REDEMET.** Disponível em: <<http://www.redemet.aer.mil.br>>. Acesso em: 15 abr.2012.

_____. Ministério da Aeronáutica. Diretoria de Rotas Aéreas. **MMA 105-7:** manual de análise do diagrama *Skew-T Log P*, Rio de Janeiro, RJ, 1969.

ESCOBAR, G.; ANDRADE, K. **Climatologia dos índices K e Total Totals (TT) para o Sul e Sudeste do Brasil.** In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, PA, 2007.

FOGACCIA, C.V.C; PEREIRA FILHO,A.J. **Turbulência e cisalhamento do vento na área do aeroporto internacional de São Paulo-Guarulhos**. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, PR, 2002.

GEORGE.J.J. **Weather forecasting for aeronautics**. Academic press, 1960. 673p.

HENRY, W. **The Skew T Log P Diagram**. National Weather Service Training Center, EUA, 1987.68p.

LIMA, Daniele, R.O. **O uso do índice K como indicador de chuvas intensas – O caso Maceió, 18 de janeiro de 2004**. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

MATSCHINSKE, M.R. **Cuidado, cumulonimbus na área**, Rio de Janeiro, RJ, 2006. Disponível em: < <http://www.redemet.aer.mil.br>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

MOREIRA, P.D.; TUCHTENHAGEM,P.N. **Relação entre índices de instabilidade e ocorrência de convecção em Uruguaiana**. Pelotas, RS, 2008.

NASCIMENTO, E. L. **Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos de modelos de mesoescala: Uma estratégia operacional adotável no Brasil**- revista brasileira de meteorologia, v.20, n.1, 2005. p.121-140.

SILVA DIAS, V. **Análise para os índices de instabilidade para previsão de formações convectivas severas para a região do aeródromo do Galeão**. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

RIEHL, H. **Meteorologia tropical: missão norte-americana de cooperação econômica e técnica no Brasil**- USAID, Rio de Janeiro, RJ, 1965.426p.

Universidade de Wyoming: Disponível em:<<http://weather.uwyo.edu>>. Acesso em: 05 abr. 2012.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**- Versão Digital 2. Recife-PE.2006.449p.

WHITING, R.M.;BAILEY,R.E., **Some meteorological relationships in the prediction of tornadoes**. Monthly Weather Review.v.85, n5, 1957.p.141-150