



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DANIELA DOS SANTOS ANANIAS

**ESTRUTURA VERTICAL DA ATMOSFERA EM BELÉM-PA NO MÊS
DE NOVEMBRO EM ANOS DE CONTRASTE (SECO E CHUVOSO)**

244

BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2008

DANIELA DOS SANTOS ANANIAS

**ESTRUTURA VERTICAL DA ATMOSFERA EM BELÉM-PA NO MÊS
DE NOVEMBRO EM ANOS DE CONTRASTE (SECO E CHUVOSO)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau superior de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof^o. Everaldo Barreiros de Souza

Co-orientador: Prof^o. Paulo F. de Souza Souza

Belém – PA

Dezembro-2008

DANIELA DOS SANTOS ANANIAS

**ESTRUTURA VERTICAL DA ATMOSFERA EM BELÉM-PA NO MÊS
DE NOVEMBRO EM ANOS DE CONTRASTE (SECO E CHUVOSO)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Aprovado em ____/____/____.

Banca examinadora:

Prof. Everaldo Barreiros de Souza – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Paulo Fernando de Souza Souza–Co-Orientador
Diretor da Faculdade de Meteorologia
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Msc. Adriano Marlisom Leão de Souza – Membro
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Doutorando

Prof^ª Maria Isabel Vitorino – Membro
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Dedico esta obra à meus pais,
Expedita e Francisco e a meus irmãos
Andréia e Danilo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo apoio nos momentos mais difíceis de minha vida.

Aos meus pais, Expedita e Francisco pelo apoio constante, ensinamentos valiosos e toda a luta por minha educação.

Aos meus irmãos Andréia e Danilo, por estarem sempre prontos a me ajudar no que for preciso.

Ao Prof^o Dimitrie Nechet, o qual foi mais que um mestre pra mim se tornando um amigo pra todas as horas, pelo qual terei eterna gratidão.

Ao Prof^o Paulo Souza, pelo apoio e conhecimentos adquiridos.

Ao Prof^o Everaldo, pela orientação indispensável na realização deste trabalho e principalmente pela amizade constituída.

Ao Projeto Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará, pela estrutura disponibilizada na elaboração deste trabalho.

A todos os professores do curso de Meteorologia, em especial aos professores Hernani, Midori, Carvalho, Lola, Maria do Carmo, Galdino e Danilo pelos ensinamentos ministrados de forma clara e objetiva.

A minha turma de 2005, em especial aos meus grandes amigos Andréia Campos, Alexandra Lima, Ciane Maciel, Douglas Batista, Simone Pinto, Kleber Brandão, Ionara Siqueira, Rafael Cordeiro (pelas divertidas idas ao cinema e a padaria), Luciano Davi, Raimundo Aarão e o amigo inseparável Gleyciano Teixeira.

Aos meus colegas e amigos do curso de Meteorologia, que me ajudaram de uma forma direta ou indiretamente na minha vida acadêmica.

*"O valor das coisas não está no tempo em que elas duram,
mas na intensidade com que acontecem.
Por isso existem momentos inesquecíveis,
coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis".*

(Fernando Pessoa)

RESUMO

Usando um conjunto de dados para um período de 26 anos (1982 a 2007), este trabalho apresentou um estudo diagnóstico sobre a estrutura vertical da temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e umidade relativa sobre a região de Belém-PA, durante o mês de novembro. As análises foram conduzidas para duas composições contrastantes no que se refere ao regime de precipitação: a composição dos anos chuvosos e a composição dos anos secos, as quais foram estabelecidas objetivamente pelo método dos percentis. Os resultados apresentados permitiram concluir que a principal diferença observada nos perfis de temperatura e umidade atmosférica, comparando-se os perfis dos anos chuvosos e secos, ocorre na camada atmosférica entre os médios e altos níveis da troposfera (entre os níveis padrões de 700 hPa e 400 hPa). Nesta camada, a diferença entre as temperaturas do ar e do ponto de orvalho é significativamente maior e o contraste de umidade associado à convecção também apresenta os maiores valores. Em geral, as composições demonstraram que os perfis de temperatura anormalmente mais quente (frio) e os perfis de umidade anormalmente mais úmido (seco) associam-se aos anos com registro de chuva acima (abaixo) do normal na região de Belém.

Palavras-chave: Perfis de temperatura e umidade, Precipitação, Percentis, Belém-PA

ABSTRACT

Based on 26-years (1982-2007) data set, a diagnostic study on the vertical structure of air temperature, dew point temperature and relative humidity observed over Belém-PA, during the months of November, is presented in this work. The analysis were conducted for two contrasting composites considering the precipitation regime: the rainy years and of dry years, which were established objectively using percentiles method. Overall, the composites demonstrated that the temperature and moisture profiles are abnormally warmer (colder) and wetter (drier) in association with the rainfall above (below) of normal in the Belém region. The results showed that the main difference in profiles studied, comparing wet and dry years, occurs in the atmospheric layer between the tropospheric medium and high levels (between the 700 hPa and 400 hPa patterns pressure levels). In this layer, the difference between air temperature, dew point and moisture is significantly higher associated with enhanced convection and precipitation.

Key words: Temperature and humidity profiles, Precipitation, Percentiles, Belém-PA

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. Esquematização gráfica das classes ou categorias de chuva usando a técnica dos percentis aplicada aos dados de precipitação.....	21
FIGURA 2. Série temporal dos totais mensais de precipitação (mm) observada em Belém-PA durante os meses de novembro de 1982 a 2007.	24
FIGURA 3. Composições das anomalias de ROL (W/m^2) para os anos classificados como (a) chuvoso/muito chuvoso e (b) seco/muito seco.	25
FIGURA 4. Perfis verticais de temperatura do ar (TT) e temperatura do ponto de orvalho (TD), ambas em $^{\circ}C$, para Belém correspondente a média climatológica de 1982-2007.....	26
FIGURA 5. Perfis verticais de umidade relativa (UR) em % para Belém correspondente a média climatológica de 1982-2007.....	27
FIGURA 6. Diferença (em $^{\circ}C$) da composição dos anos chuvosos e secos em relação à média climatológica para o perfil da temperatura do ar (TT).	29
FIGURA 7. Diferença (em $^{\circ}C$) da composição dos anos chuvosos e secos em relação à média climatológica para o perfil da temperatura do ponto de orvalho (TD).	30
FIGURA 8. Diferença (em %) da composição dos anos chuvosos e secos em relação à média climatológica para o perfil de umidade relativa (UR) em Belém.	30
FIGURA 9. Diagrama Skew-T Log-P da composição de novembro dos anos chuvosos (painel à esquerda) e secos (painel à direita) em Belém. Nas caixas, destacam-se os índices termodinâmicos calculados com base em cada sondagem.....	31

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

aROL – Anomalia de Radiação de Onda Longa
CAPE – Energia Potencial Convectiva Disponível
DJF – Dezembro-Janeiro-Fevereiro
HS – Hemisfério Sul
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
ISCCP – International Satellite Cloud Climatology Project
JJA – Junho-Julho-Agosto
K – Índice K
LI – Linhas de Instabilidade
P – Pressão
r – Razão de Mistura
S – Sul
SE - Sudeste
Td – Temperatura do ponto de orvalho
TT – Temperatura do ar
UR – Umidade Relativa
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 DADOS.....	18
3.1.1 <i>Dados de Precipitação</i>	18
3.1.3 <i>Dados de Ar Superior</i>	18
3.2 METODOLOGIA.....	20
3.2.1 <i>Percentis</i>	20
3.2.2 <i>Composições</i>	21
3.2.3 <i>Perfis Verticais</i>	22
4 RESULTADOS	23
4.1 CATEGORIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM BELÉM	23
4.2 ESTRUTURA VERTICAL DA ATMOSFERA.....	26
4.2.1 <i>Perfis Médios Climatológicos</i>	26
4.2.2 <i>Anomalias em Composições de Anos Extremos</i>	28
5. CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Segundo Riehl (1973), a região tropical engloba a maior porção da superfície da Terra e ocupa uma localização privilegiada na dinâmica do clima global. Nos trópicos ocorrem as principais trocas de energia que condicionam o clima da Terra. A importância destas regiões no clima terrestre justifica o grande número de estudos e experimentos meteorológicos.

Em particular, a Amazônia, além de se localizar inteiramente dentro dos trópicos da América do Sul, apresenta a maior floresta tropical úmida do planeta e sua influência no clima terrestre é comprovada em diversas simulações climáticas (MACHADO, 2000). Na região tropical, a umidade atmosférica apresenta variações acentuadas entre locais com forte atividade convectiva, devido movimentos ascendentes do ar que resfriam e umedece a atmosfera, e situações com pouca atividade convectiva, natural de movimentos descendentes que aquecem e secam a atmosfera. Em geral, a atmosfera se apresenta mais fria em dias chuvosos do que em dias secos (RIEHL, 1973). A Amazônia é uma fonte importante de calor e vapor d'água para a atmosfera e tem um papel significativo na circulação geral da mesma (MOTA et al, 2000).

A região Amazônica é caracterizada por um clima quente e úmido, onde os gradientes de temperaturas são muito pequenos, muita nebulosidade e bastante precipitação convectiva, ocorrendo durante todo ano uma grande incidência dos raios solares. A umidade presente, embora com valores altos, sofre variações acentuadas. Estas condições são moduladas por sistemas meteorológicos que se processam desde a escala local, meso até a grande escala, tais como os cumulonimbus isolados, linhas de instabilidade, Zona de Convergência Intertropical, entre outros (OLIVEIRA, 1994; MOTA e SOUZA, 1996).

O conceito de estações do ano para a Amazônia é diferente das demais regiões do Brasil. Tem-se o “período seco” (junho a novembro) e “período chuvoso” (dezembro a maio).

A maior parte dos estados da Amazônia apresenta seu período chuvoso durante os meses de outubro a maio. Considerando a média da chuva acumulada nestes meses, observam-se valores entre 600 mm e 2100 mm, com máximos principais sobre uma grande região que engloba a porção oeste, centro e sul (Amazonas, Acre, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e sul do Pará) e outra na porção oriental (que inclui o sul do Amapá, leste do Pará e norte do Maranhão) (FIGUEROA e NOBRE, 1990).

O período seco em grande parte da Amazônia ocorre durante os meses de junho, julho e agosto. Este período caracteriza-se pela baixa pluviosidade (chuvas abaixo de 50 mm/mês) e longos períodos de estiagem, as quais atingem principalmente o Acre, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins, centro sul do Maranhão, e sul do Amazonas e do Pará. A chuva neste período ocorre em forma de pancadas isoladas e em áreas esparsas (SOUZA e AMBRIZZI, 2003).

Em particular, a região nordeste do Estado do Pará, localizada próxima da faixa litorânea, apresenta seu período seco entre os meses de julho a novembro. O foco deste trabalho é o mês de novembro, devido ser considerado o mês de transição entre o período seco e o chuvoso na região.

Com base em uma série de dados de ar superior do período de 1982 a 2007, o objetivo deste trabalho é investigar alguns aspectos diagnósticos relacionados com a estrutura vertical da atmosfera sobre a região de Belém-PA, durante o mês de novembro, associadas aos anos de contraste classificados como secos e chuvosos no que se refere ao regime de precipitação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A convecção na região Amazônica é um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical e suas variações, em termos de intensidade e posição possui um papel importante na determinação do tempo e do clima desta região. A liberação de calor latente durante a época chuvosa é tipicamente de 2,5° K/dia (FIGUEROA; NOBRE, 1990), o equivalente a uma precipitação de 10 mm/dia.

Molion (1987), estudando as circulações de macro e meso-escala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que organizam e promovem a precipitação na região amazônica, classificou os mecanismos que provocam chuva na Amazônia em 3 tipos: a) convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala favoráveis; b) linhas de instabilidade originadas na costa N-NE do litoral Atlântico; c) aglomerados convectivos de meso e larga escala, associados com a penetração de sistemas frontais na região S-SE do Brasil e interagindo com a região Amazônica.

A distribuição espacial e temporal das chuvas na Amazônia foi detalhadamente estudada por Figueroa e Nobre (1990), utilizando 226 estações pluviométricas, e por Marengo (1995), que usou dados de Radiação de Ondas Longas do International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP). Estes autores concluíram que a precipitação média anual é de aproximadamente 2300 mm, existindo áreas com precipitações superiores a 3000 mm/ano localizadas no oeste, noroeste e no litoral norte da Amazônia. Os valores de precipitação elevada próximo à Cordilheira dos Andes (Oeste e Noroeste) são devido à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios. Na região costeira (do litoral do Pará ao Amapá), a precipitação durante a época seca é devido à influência das linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa litorânea durante o período da tarde, devido a brisa marítima (COHEN et al, 1989). O máximo da chuva na região central da Amazônia (próximo de 5°S), pode estar associado com a penetração de sistemas frontais da região sul, interagindo e organizando a convecção local.

O período de chuvas ou forte atividade convectiva na região Amazônica é compreendido entre Dezembro a Maio, sendo que o período de seca (sem grande atividade convectiva) é entre os meses de Junho a Novembro. Os meses de Maio e Novembro são meses de transição entre um regime e outro. A distribuição de chuva no trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF) apresenta uma região de precipitação alta (superior a 900 mm) situada na parte oeste e central da Amazônia, em conexão com a posição geográfica da Alta da Bolívia. Por outro lado, no trimestre Junho-Julho-Agosto (JJA), o centro de máxima precipitação desloca-se para o norte e situa-se sobre a América Central. A região Amazônica neste trimestre (JJA), principalmente na parte central, está sobre o domínio do ramo descendente da Célula de Hadley, induzindo um período de seca bem característica. Este comportamento está completamente de acordo com o ciclo anual da atividade convectiva na região, conforme demonstrado por Horel et al, (1989). Satyamurty et al (1998) observaram que as precipitações máximas estão localizadas sobre o sul e leste da Amazônia, no verão do HS (dezembro e fevereiro) e um período relativamente seco ocorre durante o inverno do HS (maio à setembro). Um estudo climatológico da circulação troposférica sobre a região Amazônica foi efetuado por Kousky e Kayano (1981), usando radiossondagens da Amazônia Central (Manaus, AM) e Oriental (Belém, PA) durante o período de 1968-1976. Os autores encontraram que o vento em altos níveis (200 hPa) é de oeste durante os meses de inverno no Hemisfério Sul (junho à agosto) nas duas localidades, embora a intensidade e ocorrência sejam variáveis. Estes autores também sugerem que a distribuição de chuvas na Amazônia esteja relacionada com a posição da Alta da Bolívia.

O leste da Amazônia é caracterizado por duas estações bem distintas: a estação seca no Hemisfério Sul (de junho a novembro) com precipitação em torno de 50 mm/mês e a estação chuvosa (de dezembro a maio), com precipitações maiores que 250 mm/mês, modulada em grande parte pela presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A presença da ZCIT na região propicia a formação de linhas de instabilidade (LI), que são responsáveis por aproximadamente 45 % da precipitação

do leste paraense, com máxima frequência entre os meses de abril a agosto (COHEN et al, 1989).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DADOS

3.1.1 Dados de Precipitação

A base de dados contendo os totais mensais de precipitação observada na cidade de Belém-PA, que está situada na latitude de 01°23'S e longitude de 49°29' W, é proveniente dos dados coletados e registrados pela estação meteorológica convencional pertencente ao 2° Distrito (2° DISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 1982 a 2007.

3.2.2 Dados de Radiação de Onda Longa (ROL)

Foram utilizados dados de ROL do NCEP para realizar as composições das anomalias do mês de novembro para os anos definidos como chuvoso/muito chuvoso e seco/muito seco durante o período de 1982 – 2007, com a finalidade de verificar a presença/ausência de nebulosidade convectiva na região.

3.1.3 Dados de Ar Superior

No desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados dados de radiossondagens obtidas no site <http://weather.uwyo.edu/wyoming/> para o período de 1982 a 2007, os quais são provenientes dos dados coletados e registrados pela estação de ar superior do aeroporto internacional Val de Cans na cidade de Belém-PA. As radiossondagens foram lançadas em intervalo de 24 horas, sempre lançadas às 1200 UTC. As variáveis usadas foram pressão, temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e umidade relativa nos 10 níveis padrões atmosféricos: 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 e 100 hPa.

As definições das variáveis usadas encontram-se a seguir.

Pressão (P): É o peso de uma coluna de ar de corte transversal unitário, que se estende desde um determinado nível até o limite superior da atmosfera. A sua medida pode ser expressa em milibares ou hPa. A pressão atmosférica varia de lugar para lugar. Essa variação é causada pela altitude e principalmente pela temperatura.

Temperatura do ar (TT): Todas as substâncias são constituídas de pequenas partículas, moléculas que se encontram em contínuo movimento. Quanto mais rápido o movimento das moléculas, mais quente se apresenta o corpo e quanto mais lento, mais frio se apresenta o corpo. Então define-se temperatura como o grau de agitação térmica das moléculas.

Razão de Mistura (r): Define-se como a razão entre a massa de vapor d'água e a massa do ar seco, ou seja, a massa de vapor d'água contida em uma unidade de ar seco expressa em g/kg.

Temperatura do Ponto de Orvalho (Td): É a temperatura para a qual o vapor de água contido numa massa de ar com determinada umidade absoluta e pressão, condensa.

Umidade Relativa (UR): É a relação entre o teor de vapor d'água contido no ar num dado momento e o teor máximo que esse ar poderia conter, à temperatura ambiente. O valor da umidade relativa pode mudar pela adição ou remoção de umidade do ar ou pela mudança de temperatura.

Radiação de Onda Longa (ROL): A superfície da Terra, quando aquecida pela absorção da radiação solar, torna-se uma de radiação de ondas longas, a maior parte da radiação emitida pela Terra está na faixa espectral infravermelha de $4\mu\text{m}$ até $100\mu\text{m}$, com um máximo em torno de $10\mu\text{m}$.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Percentis

Neste trabalho utiliza-se como metodologia a Técnica dos Quantis. Esta técnica baseia na análise dos “quantis” e foi proposta por Pinkayan (1966) e amplamente utilizada por Xavier (2000) em diversos estudos para estabelecer a classificação e monitoramento de períodos secos e chuvosos das estações pluviométricas do Estado do Ceará. A técnica de quantis baseia-se na distribuição da frequência acumulada e quanto maior o número de observações disponíveis, melhor é a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno. Esta técnica apresenta a vantagem da sua simplicidade, mas sua limitação dá-se pelo fato de que observações provenientes de uma única estação ou localidade não podem caracterizar o padrão global de uma determinada região, especialmente na distribuição espacial dos regimes pluviométricos. A seguir, descreve-se resumidamente a formulação dos quantis, conforme Xavier e Xavier (1987).

Seja uma variável X que representa os valores mensais de precipitação de Belém. Define-se Q_p como o limite do intervalo do quantil para a variável X , sendo p a probabilidade de ocorrência, tal que X seja menor que Q_p . Logo, a escolha do intervalo associado a um quantil deve satisfazer a seguinte relação: **Prob. ($X \leq Q_p$)**, sendo ($0 < 1$). Os quantis utilizados referem-se aos valores para p : 0,15; 0,35; 0,65 e 0,85, correspondentes a cinco categorias e por isso denominados de **percentis**, conforme mostra a TABELA 1.

TABELA 1- Classes ou categorias de precipitação usando a técnica dos percentis.

Muito Seco (MS)	$X_i \leq Q_{0,15}$
Seco (Seco)	$Q_{0,15} < X_i \leq Q_{0,35}$
Normal (N)	$Q_{0,35} < X_i < Q_{0,65}$
Chuvoso (C)	$Q_{0,65} \leq X_i < Q_{0,85}$
Muito Chuvoso (MC)	$X_i \geq Q_{0,85}$

Os intervalos de cada percentil listados na TABELA 1 representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem ocorrer na seqüência da série temporal da variável **X**. A metodologia dos percentis resumida na TABELA 1 também é ilustrada graficamente na FIGURA 1, permitindo a visualização para cada uma das cinco classes ou categorias de precipitação: muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso. Ressalta-se que a categoria normal refere-se a normal ou média climatológica.

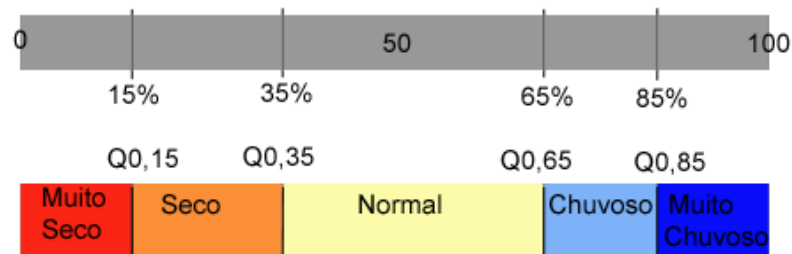


Fig. 1- Esquematização gráfica das classes ou categorias de chuva usando a técnica dos percentis aplicada aos dados de precipitação.

3.2.2 Composições

A técnica de composições é conhecidamente eficiente em identificar os padrões médios e características principais associadas a um determinado fenômeno ou padrão climático. A composição é uma média aritmética de todos os eventos selecionados por algum critério objetivo. Neste trabalho, utiliza-se a técnica de composições para investigar as principais diferenças entre os perfis verticais dos dados de ar superior entre os anos extremos de precipitação (secos e chuvosos) e a média climatológica. Os anos selecionados para as composições foram baseados nos resultados da categorização da série de precipitação.

3.2.3 Perfis Verticais

Para a análise da estrutura vertical da atmosfera sobre a região de Belém, foram aplicados os seguintes procedimentos:

- Primeiramente, foram arquivados os dados diários de ar superior ordenados por variável e nível de pressão;
- Os dados diários faltantes foram preenchidos com 9999;
- Foram calculadas as médias aritméticas mensais para cada variável e nível de pressão. Tais médias mensais considerando o período de 26 anos (1982-2007) foram definidas como a média climatológica;
- Foram calculadas as composições para cada variável e nível de pressão considerando somente os anos extremos contrastantes (anos seco/muito seco e anos chuvoso/muito chuvoso, conforme metodologia dos percentis);
- Foram calculadas para cada variável e nível de pressão a diferença entre as composições dos anos extremos e a média climatológica;
- Foram plotados os perfis verticais de TT, Td e UR para a média climatológica e os perfis verticais da diferença entre as composições dos anos extremos e a média climatológica.

4 RESULTADOS

4.1 CATEGORIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM BELÉM

Os resultados da aplicação da técnica dos percentis considerando os dados de precipitação mensal observada nos meses de novembro de 1982 a 2007 resultaram nos valores das categorias ou classes enumerados na TABELA 2. A categoria normal ou média climatológica da precipitação mensal para o mês de novembro em Belém varia entre 93 e 140 mm.

TABELA 2- Valores e intervalos das categorias da precipitação (mm) em Belém para o mês de novembro, obtidos pelo método dos percentis. Dados: 1982-2007.

<i>Categorias ou classes:</i>	<i>Limiares da precipitação em mm</i>
Muito Seco	≤ 78
Seco	79 a 92
Normal	93 a 140
Chuvoso	141 a 201
Muito Chuvoso	≥ 202

A FIGURA 2 mostra a série temporal dos totais mensais de precipitação nos meses de novembro do período de 1982 a 2007. Aplicando a metodologia mencionada anteriormente e com base nos intervalos dos percentis obtidos na TABELA 2, é possível extrair a relação dos anos extremos considerados como seco/muito seco e chuvoso/muito chuvoso, os quais serão usados para gerar as composições. Analisando os resultados da FIGURA 2 verifica-se que os anos categorizados como muito chuvosos ocorreram em 1988, 1993, 1995, 1996 e 2006. Os anos categorizados como chuvosos ocorreram em 1985, 1994, 1996, 1998 e 2002. Inversamente, os anos categorizados como secos foram 1982, 1984, 1989, 1999 e 2000. Os anos categorizados como muito secos ocorreram em 1983, 1987, 1991 e 1992.

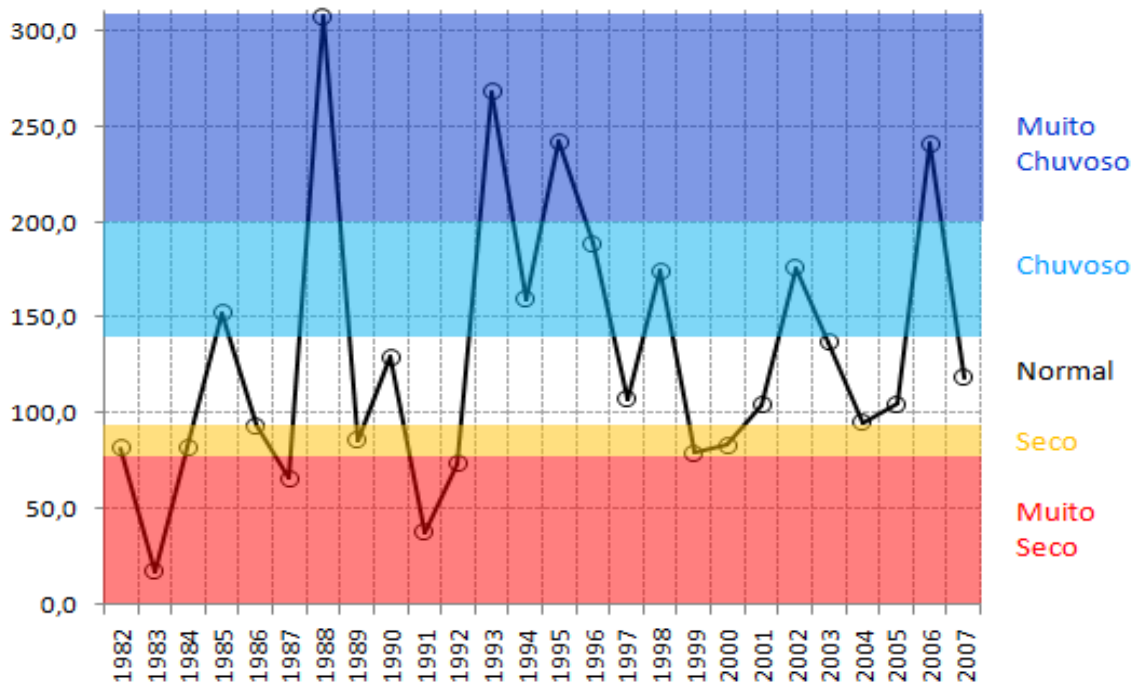


Fig. 2- Série temporal dos totais mensais de precipitação (mm) observada em Belém-PA durante os meses de novembro de 1982 a 2007.

Portanto, a metodologia dos percentis permitiu a seleção dos anos extremos contrastantes no que se refere à categoria da precipitação. Assim sendo, define-se a composição dos anos CHUVOSOS como a média de todos os anos considerados como chuvoso e muito chuvoso, conforme listagem na TABELA 3. A composição dos anos SECOS refere-se a média de todos os anos considerados seco e muito seco, conforme listagem na TABELA 3.

TABELA 3- Relação dos anos usados nas composições dos anos chuvoso/muito chuvoso e seco/muito seco, baseados na caracterização da precipitação pelo método dos percentis

Muito seco	1983; 1987; 1991;1992
Seco	1982; 1984; 1989; 1999; 2000
Chuvoso	1985; 1994; 1996; 1998; 2002
Muito chuvoso	1988; 1993; 1995; 1996; 2006

A FIGURA 3 mostra as composições das anomalias de ROL para os anos definidos como chuvoso/muito chuvoso e seco/muito seco. Para os anos chuvosos, observa-se a predominância de anomalias negativas de ROL, indicativas de nebulosidade convectiva anormalmente realçada, na região do Pará e Oceano Atlântico equatorial (FIGURA 3a). Inversamente, para a composição de anos secos, verifica-se a presença de uma grande área contendo anomalias positivas de ROL, que indicam a inibição anômala de nebulosidade convectiva, na região (FIGURA 3b). Portanto, os dados de ROL são consistentes com a categorização da precipitação obtida pelo método dos percentis.

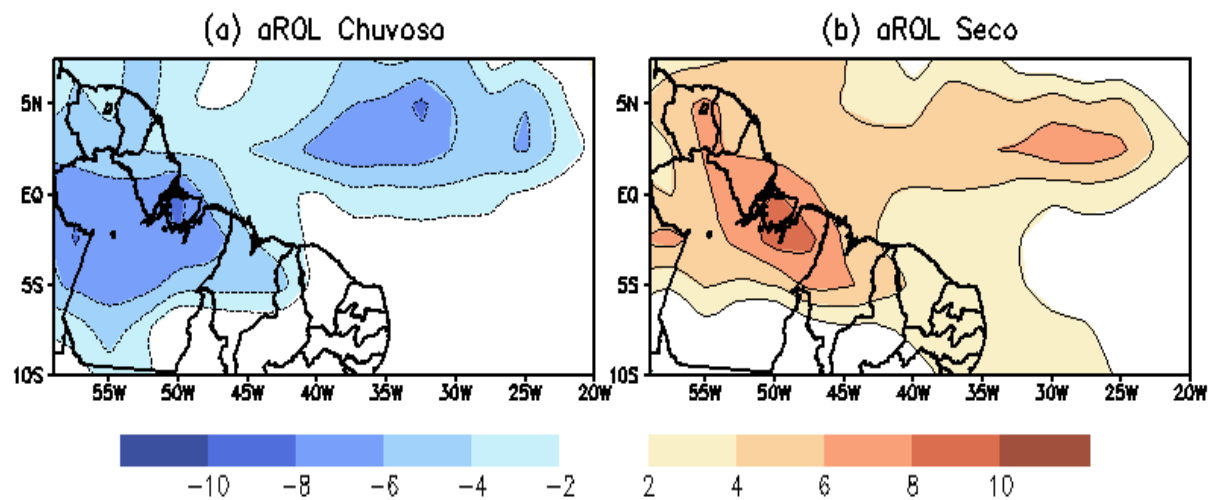


Fig. 3- Composições das anomalias de ROL (W/m^2) para o mês de novembro dos anos classificados como (a) chuvoso/muito chuvoso e (b) seco/muito seco, durante o período de 1982-2007 para novembro.

4.2 ESTRUTURA VERTICAL DA ATMOSFERA

4.2.1 Perfis Médios Climatológicos

Nesta secção apresentam-se os perfis verticais dos dados de ar superior correspondentes a média climatológica de 1982-2007.

A FIGURA 4 mostra o perfil vertical da temperatura do ar (TT) e da temperatura do ponto de orvalho (Td) em Belém. Em geral, observa-se o padrão típico de diminuição da temperatura com a altura. No nível próximo à superfície, verificam-se valores positivos em torno de 22°C e 26°C para Td e TT, respectivamente. O valor de Td passa a ser negativo no nível próximo a 700 hPa e TT passa a ser negativo próximo ao nível de 600 hPa. A maior diferença entre TT e Td ocorre na média atmosfera, em torno de 500 hPa. Na alta atmosfera, entre 200 hPa e 100 hPa, os valores de Td e TT ficam mais próximos.

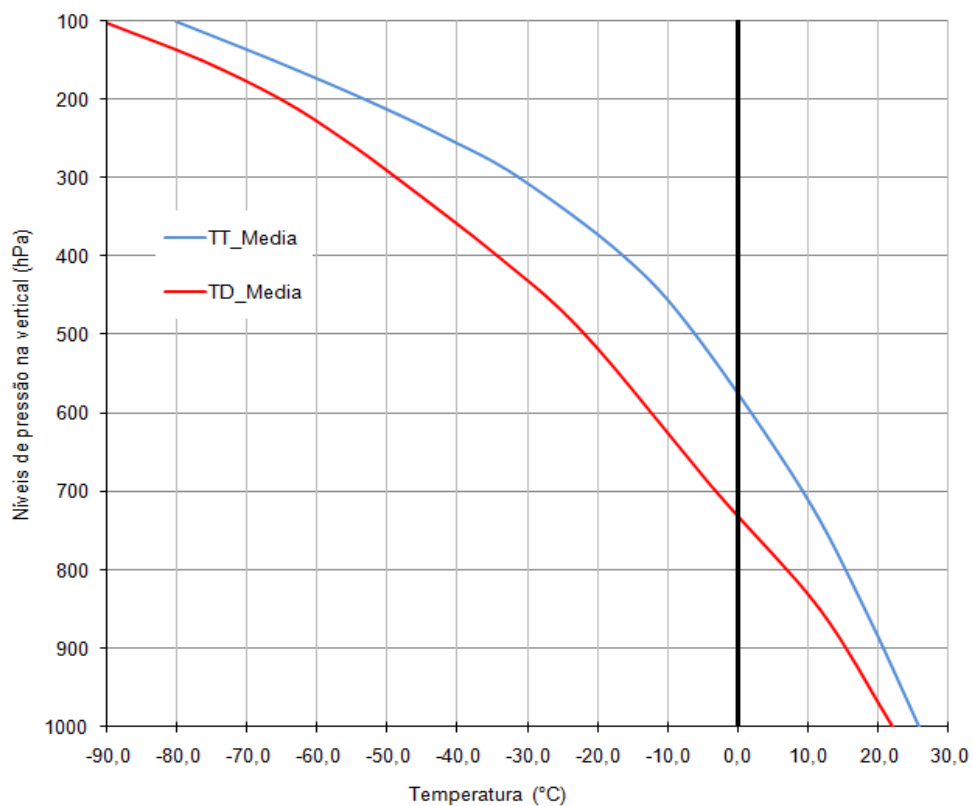


Fig. 4- Perfis verticais de temperatura do ar (TT) e temperatura do ponto de orvalho (TD), ambas em °C, para Belém correspondente a média climatológica para novembro de 1982-2007.

A FIGURA 5 mostra o perfil vertical da umidade relativa do ar (UR) em Belém. Assim como nos perfis de temperatura, o perfil de umidade também apresenta o padrão típico de diminuição com a altura. Próximo a superfície, a UR é alta com valores em torno de 80%. À medida que afasta-se a altura em relação à superfície vai aumentando, a atmosfera vai ficando mais seca, com valores de 50% em torno de 700 hPa, de aproximadamente 35% na troposfera (500 hPa) e próximo de 10% na estratosfera (entre 200 hPa e 100 hPa).

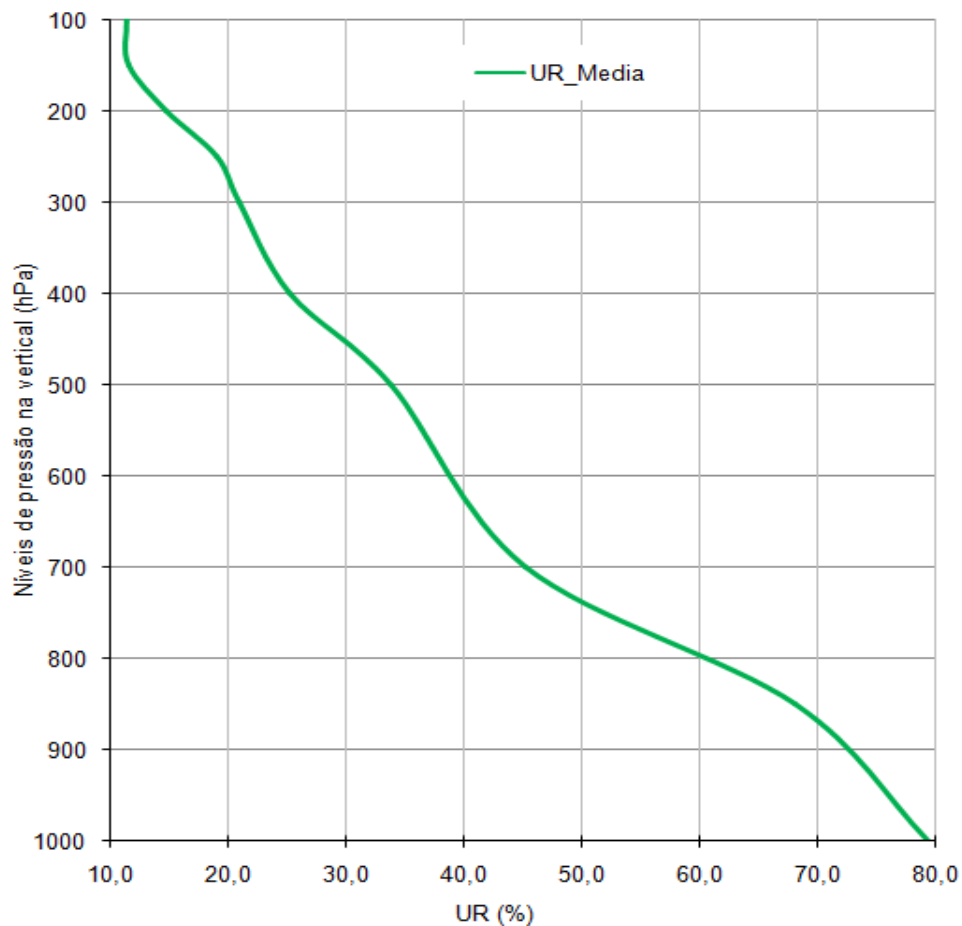


Fig. 5- Perfis verticais de razão de mistura (r) em Kg/g para Belém correspondente a média climatológica de 1982-2007.

4.2.2 Anomalias em Composições de Anos Extremos

Nesta secção apresentam-se as composições dos perfis verticais dos dados de ar superior correspondentes aos anos contrastantes definidos como seco/muito seco e chuvoso/muito chuvoso. Os resultados referem-se à diferença entre a composição de tais anos contrastantes e a média climatológica mostrada nas FIGURAS 4 e 5.

As FIGURAS 6, 7 e 8 mostram as diferenças obtidas no perfil vertical das composições dos anos chuvosos e secos e o perfil médio climatológico para a TT, Td e UR, respectivamente.

Observa-se na FIGURA 6 que no nível de 1000 hPa próximo a superfície, a diferença da TT é positiva para os anos chuvosos e negativa para os anos secos, o que significa a presença de condições de temperatura anormalmente mais quente (fria) nos anos com chuva acima (abaixo) do normal. Na camada entre os níveis de 850 hPa e 500 hPa (baixos e médios níveis da atmosfera), ambas composições mostram diferença positiva. Entretanto, nota-se claramente que na composição de anos secos, os valores são bem maiores comparados aos da composição de anos chuvosos, caracterizando condições de temperatura mais amena (bem mais quente) do que o normal durante os anos chuvosos (secos) na camada entre os baixos e médios níveis da atmosfera de Belém. No nível de 400 hPa, a diferença de TT é próxima de zero em ambas composições. Nos altos níveis da atmosfera, entre 300hPa e 100 hPa, voltam as condições de diferença positiva, sendo menor nos anos chuvosos e maior nos anos secos.

Na FIGURA 7, a diferença de Td é positiva para os anos chuvosos e negativa para os anos secos. Entre 850 hPa e 700 hPa, notam-se valores negativos em ambas composições. Nos médios níveis da atmosfera, entre 700 hPa e 400 hPa, verifica-se que a diferença de Td é positiva para os anos chuvosos e negativa para os anos secos. Nos altos níveis da atmosfera, entre 200 hPa e 100 hPa, ocorre uma inversão, com valores negativos para os anos chuvosos e positivos para os anos secos.

Na FIGURA 8, observa-se que no nível de 1000 hPa próximo à superfície, a diferença de UR é positiva para os anos chuvosos e negativa para os anos secos, caracterizando condições anormalmente mais úmida (seca) quando tem-se precipitação acima (abaixo) do normal. Na camada entre 700 hPa e 300 hPa, que ocupa grande parte da atmosfera de ar superior, observam-se valores significativamente positivos para a composição chuvosa, o que significa condições normalmente mais úmidas associadas a formação de nebulosidade convectiva (ver FIGURA 3a) na região de Belém. Inversamente, o perfil de UR correspondente a composição seca apresentam valores predominantemente negativos, caracterizando condições atmosféricas anormalmente seca, associadas à ausência de nuvens sobre Belém (ver FIGURA 3b).

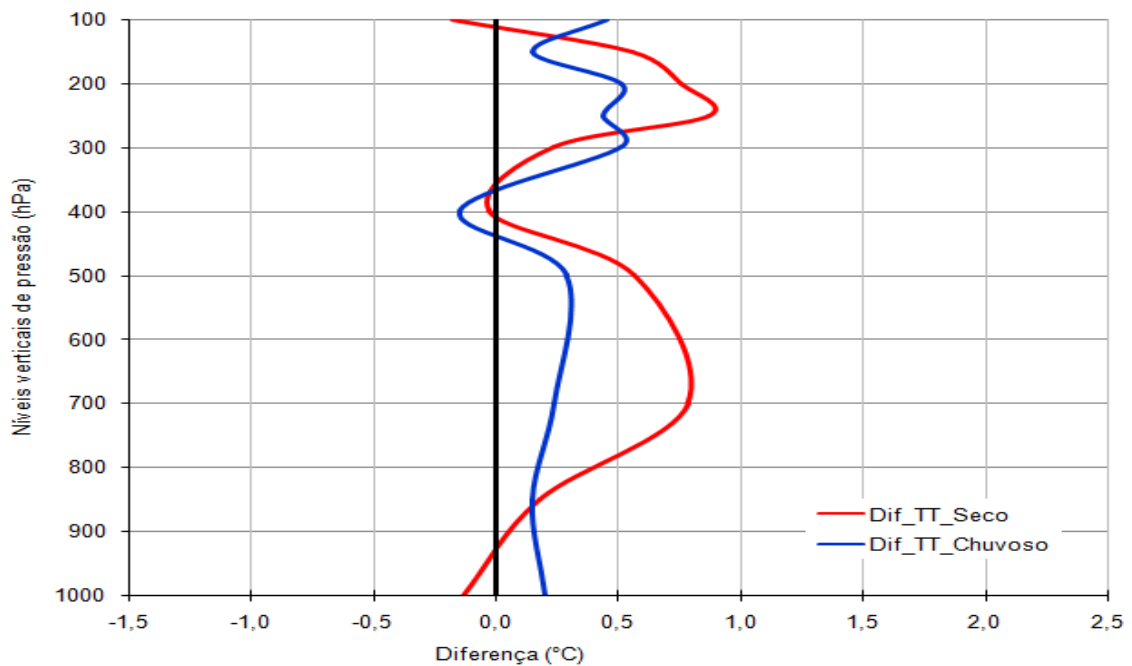


Fig. 6- Diferença (em °C) da composição dos anos chuvosos e secos em relação à média climatológica para o perfil da temperatura do ar (TT).

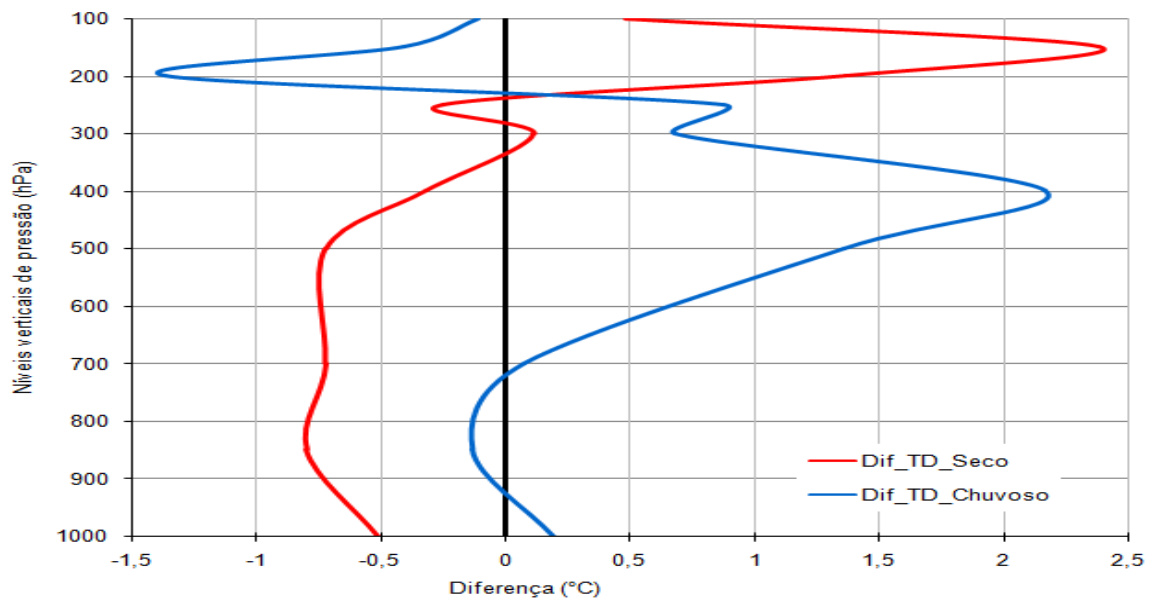


Fig. 7- Diferença (em °C) da composição dos anos chuvosos e secos em relação à média climatológica para o perfil da temperatura do ponto de orvalho (TD).

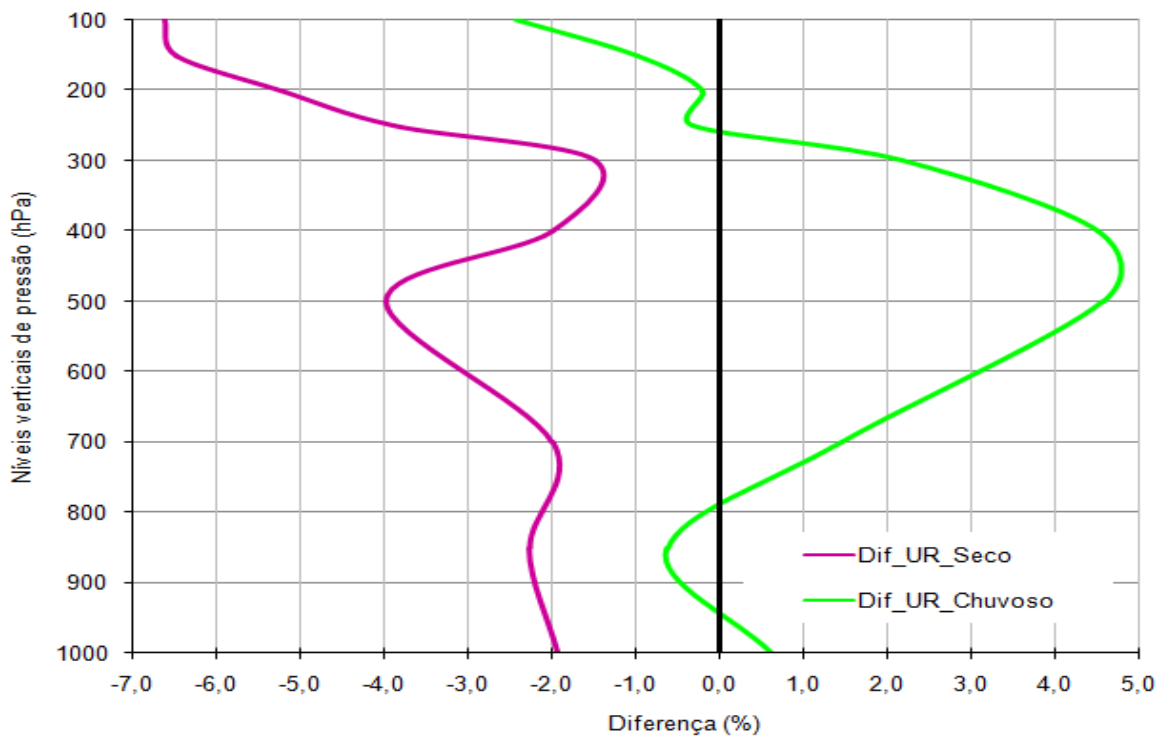


Fig. 8- Diferença (em %) da composição dos anos chuvosos e secos em relação à média climatológica para o perfil de umidade relativa (UR) em Belém.

A FIGURA 9 mostra a plotagem do diagrama Skew-T Log-P da composição do mês de novembro dos anos chuvosos e secos. Embora, os perfis de TT e Td apresentem visivelmente pouca distinção (as diferenças foram discutidas na seção anterior), os índices termodinâmicos resultantes destas sondagens mensais mostram valores bem consistentes. Para a composição de anos chuvosos a CAPE de 581 J, índice TT de 44 e índice K alto de 30 demonstram a presença de uma estrutura termodinâmica bem típica de alta instabilidade atmosférica com formação de convecção profunda. Por outro lado, CAPE de 137 J, índice TT de 38 com o índice K baixo de 20, indicam a ocorrência de atmosfera não muito instável e com baixo potencial para convecção.

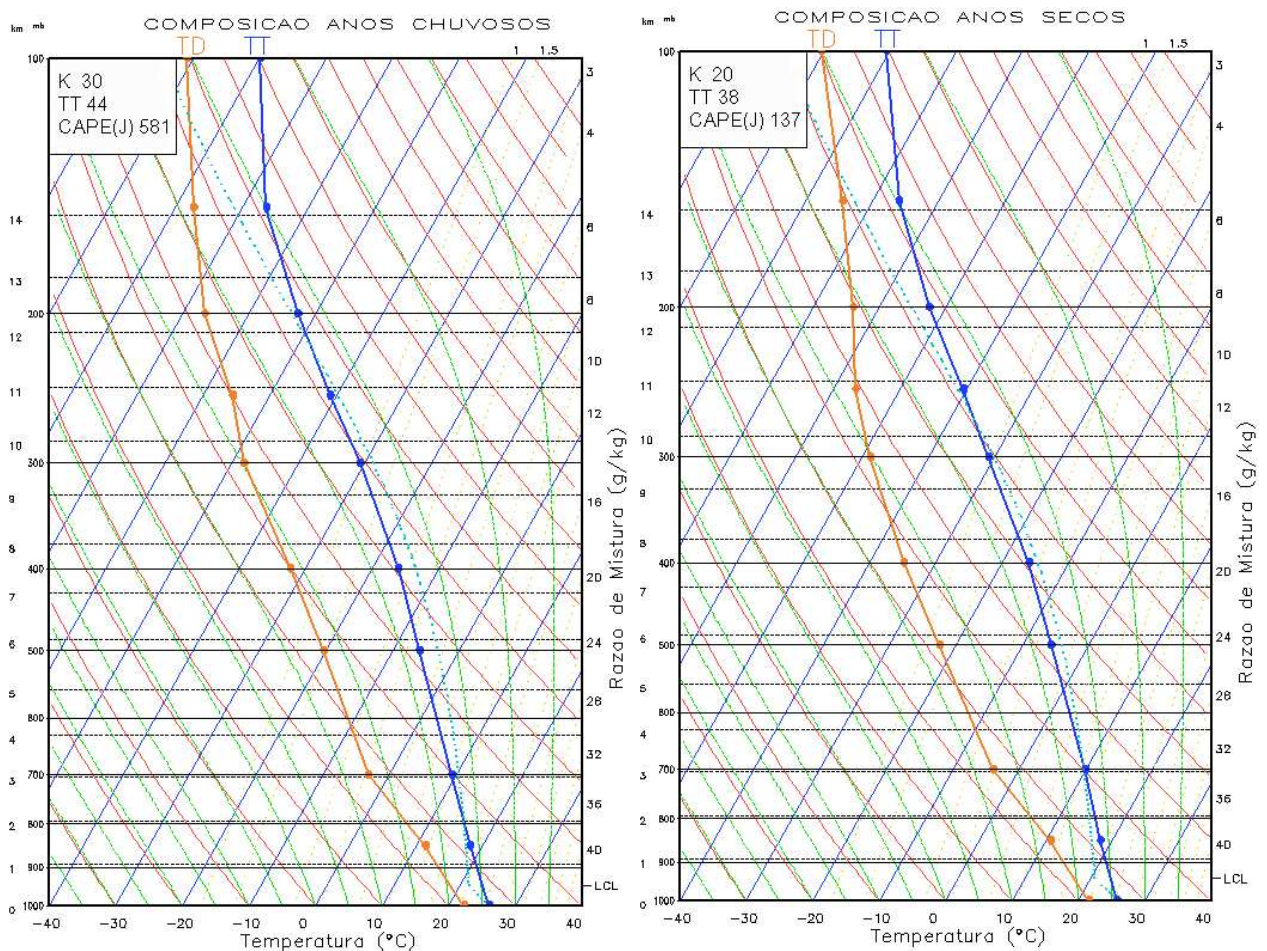


Fig. 9- Diagrama Skew-T Log-P da composição de novembro dos anos chuvosos (painel à esquerda) e secos (painel à direita) em Belém. Nas caixas, destacam-se os índices termodinâmicos calculados com base em cada sondagem.

5. CONCLUSÕES

Usando um conjunto de dados para um período de 26 anos (1982 a 2007), este trabalho apresentou um estudo diagnóstico sobre a estrutura vertical da atmosfera, particularmente os perfis verticais de temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e razão de mistura sobre a região de Belém-PA, durante o mês de novembro. As análises foram conduzidas para duas composições contrastantes no que se refere ao regime de precipitação: a composição dos anos chuvosos e a composição dos anos secos, as quais foram estabelecidas objetivamente pelo método dos percentis.

As composições demonstraram que os perfis de temperatura e de umidade apresentam condições anormalmente mais quente (frio) e mais úmido (seco) em associação aos anos com registro de chuva acima (abaixo) do normal na região de Belém. Os resultados apresentados permitiram concluir que a principal diferença observada nos perfis de temperatura e umidade atmosférica, comparando-se os perfis dos anos chuvosos e secos, ocorre na camada atmosférica entre os médios e altos níveis (entre os níveis padrões de 700 hPa e 400 hPa). Nesta camada, a diferença entre as temperaturas do ar e do ponto de orvalho é maior e o contraste de umidade associado à convecção também apresenta os maiores valores.

REFERÊNCIAS

COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M.A.; NOBRE, C. **Aspectos climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia.** Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.4,n.11, p. 34-41, 1989.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.; **Precipitations distribution over central and western tropical South America.** Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.5,n.6, p. 36-48, 1990.

HOREL, J.D.; HAHMANN, A.N.; GEISLER, J.E. **An Investigation of the Annual Cycle of Convective Activity Over the Tropical Americas.** Journal of Climate, v.2, n.11, 1388 - 1403, 1989.

KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T. **A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region.** Acta Amazônica, v.11, n.4, 743 - 758, 1981.

MACHADO, L. A. T. **The Amazon energy Budget Using the ABLE – 2b and FluAmazon Data.** Journal of Atmospheric Sciences. v.57, n.18, p.3131-3144. 2000.

MARENGO, J. **Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data.** International Journal of Climatology. v.15, n.9, 995-1010, 1995.

MOLION, L.C.B.; **Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação.** Revista Brasileira de Meteorologia. v.2, p.107-117, 1987.

MOTA, J.; FISCH, G.; OLIVEIRA, P.J.; GARSTANG, M.; HEITZ, R.; SIGLER, J. **Análise da Variabilidade diária da Precipitação em Área de Pastagem Para a Época Chuvosa de 1999-Projeto TRMM-LBA,** Acta Amazônica, v.30, n.4, 629-639, 2000.

MOTA, M.A.S.; SOUZA, P.F.S. **Influência da precipitação nas características termodinâmicas da atmosfera durante um mês seco**. In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão-SP, 1996. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, p. 1136-1138, 1996.

OLIVEIRA, A.P.; FITZJARRALD D.R. **The Amazon River Breeze And The Local**

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area**. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966.p. (Hidrology Papers,12).

RIEHL, H. **Climate and weather in the tropics**. Academic Press Inc. New York, 1973.

RIEHL, H. **Tropical Meteorology**. New York, McGraw-Hill, 392p, Cap.2, 1954.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; DIAS, P.L.S. **Meteorology of the South Hemisphere**. Boston, Massachusetts: America Meteorological Society, v.27, n.49. p.119 - 139, 1998.

SOUZA,E. B., T. AMBRIZZI. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**, v. 1, 2003 [Disponível online em www.cptec.inpe.br/products/cliamanalise/artigos/artcien2.shtml].

SILVA,V. A. M. **Meteorologia e Climatologia/** Mário Adelmo Varejão-Silva, - Brasília: INMET, Gráfica e Editora Pax,2001. 532 p.: il

University of Wyoming
Disponível: <http://weather.uwyo.edu/wyoming/>
Acesso em: 12 Dez 2008

XAVIER, T. M. B. S. *et al.* Previsão regional de chuva para o Estado do Ceará através do projeto “Tempo de Chuva”: 1964-1999. **Rev. Bras. Recur. Hídri.**, v.5, p.69-92. 2000.