

CONTROLE DE QUALIDADE DOS DADOS DE RADIOSSONDAGEM DA CAMPANHA WET-AMC/LBA⁽¹⁾

MARCOS LONGO², RACHEL IFANGER ALBRECHT², LUIZ AUGUSTO TOLEDO MACHADO³,
GILBERTO FISCH³, MARIA ASSUNÇÃO FAUS DA SILVA DIAS²

(1) Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo -
Rua do Matão, 1226, 05508-900, São Paulo-SP, Brasil. E-mail: lba@master.iag.usp.br

(2) Instituto de Aeronáutica e Espaço, Centro Técnico Aeroespacial
Praça Mal. Eduardo Gomes 50, 12228-904, São José dos Campos-SP, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta um controle de qualidade dos dados das radiossondagens realizadas durante a campanha WET-AMC/LBA (*Wet season Atmospheric Meso-scale Campaign, Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazon*), em janeiro e fevereiro de 1999, em Rondônia. O controle de qualidade de dados foi dividido em quatro fases: a primeira fase, baseada em métodos de inspeção visual, detectou e corrigiu problemas de incompatibilidade de data e hora e problemas com as unidades do vento. Na segunda fase, os dados de superfície foram comparados com dados de outros instrumentos próximos às bases de lançamento, aplicando um método de verossimilhança simples para eliminar ou substituir dados com problemas. Na terceira fase, aplicou-se um método de verossimilhança estatística a fim de analisar trechos suspeitos nos perfis das sondagens, que estivessem fora do intervalo de confiança de 95%, eliminando o trecho quando justificável. Na quarta fase, analisou-se o comportamento da divergência bidimensional de massa integrada na coluna atmosférica a partir das sondagens (método de consistência física). Foi possível constatar que a remoção ou substituição dos dados considerados suspeitos, em especial de superfície, torna o conjunto de dados de sondagens muito mais confiável, fato este exemplificado neste trabalho pela CAPE (Energia Potencial Disponível para Convecção), que, antes da aplicação do controle de qualidade apresentava, em diversos casos, valores exageradamente elevados, não verificados no conjunto corrigido de dados.

Palavras-chave: Controle de qualidade, Radiossondagens, Amazônia, LBA.

Abstract: WET-AMC/LBA CAMPAIGN SOUNDING DATA QUALITY CONTROL

This work presents radiosonde data quality control taken out in January and February 1999 during WET-AMC/LBA campaign in Rondonia state (*Wet season Atmospheric Meso-scale Campaign, Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazon*). The data quality control was divided in four phases: the first phase, based on a visual inspection method, detected and corrected problems in date, hour and wind units. In the second phase, surface data were compared to other data series from other instruments near the launching sites to be applied a simple plausibility method for elimination or substitution of problematic data. In third phase it was applied a statistical plausibility method to analyse those radiosonde profiles which were out of a 95% interval of confidence and to eliminate this profile or part of it. In fourth phase it was analysed the two-dimensional integrated on the atmospheric column calculated using the radiosondes (physical consistency method). It was shown that the elimination or substitution of suspicious data, especially the surface data, makes the sounding data joint more dependable, and it is exemplified calculating CAPE (Convection Available Potential Energy) for data with and without quality control finding too high values for some profiles without the quality control.

Key-words: Quality control, Radiosoundings, Amazon Basin, LBA.

1. INTRODUÇÃO

A primeira campanha atmosférica em mesoescala do projeto LBA (sigla em inglês do *Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia*), denominada WET-AMC (*Wet season Atmospheric Mesoscale Campaign*), ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro de 1999, em Rondônia (veja SILVA DIAS et al., 2002). Durante este experimento, foram operadas quatro estações de radiossondagem localizadas nas cidades de Ouro Preto

d'Oeste, Rolim de Moura, Cacaulândia (Hotel Fazenda Rancho Grande) e na Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru). Em Rolim de Moura (RM) e Reserva Biológica do Jaru (RJ), utilizaram-se sondas Väisälä, enquanto em Rancho Grande (RG) e Ouro Preto d'Oeste (OP) foram usadas sondas VIZ. A posição dos sítios de lançamento está na Figura 1. Tendo em vista a utilização de dois tipos de sondas diferentes, bem como de procedimentos operacionais de lançamento dos balões, fazem-se necessários o desenvolvimento e aplicação de um controle rigoroso de qualidade nos dados coletados.

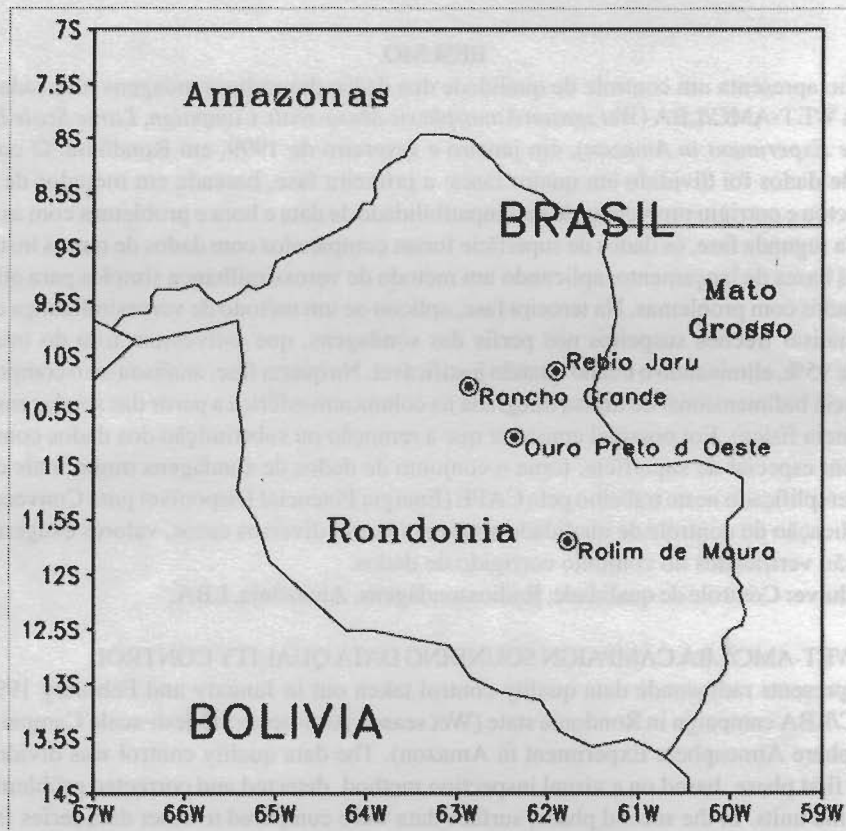


Figura 1. Posição das estações de lançamento das radiossondas

Vários esforços têm sido feitos para detectar e corrigir os erros incorporados às radiossondagens de todo o mundo. A maior parte concentra-se na composição de séries climatológicas a fim de detectar possíveis tendências e construir séries com um bom grau de confiabilidade para serem utilizadas em modelos climatológicos.

Vuolo (1996) classifica os erros como sendo aleatórios e/ou sistemáticos. Os erros aleatórios são devidos a inúmeros fatores independentes e tendem a distribuir-se simetricamente em torno de zero, além de não dependerem do valor medido. Tais erros estão

presentes em todas as séries de dados, e não é possível removê-los destas, embora o erro quadrático médio devido aos erros aleatórios deva tender a zero em conjuntos de dados acurados. Por outro lado, os erros sistemáticos não se distribuem simetricamente em torno de zero, e podem ser devidos a erros na escala do instrumento ou qualquer outro fator que seja persistente no tempo, ou que dependa deste (aumentando gradativamente com o tempo, por exemplo). É possível remover este erro desde que se conheça a sua origem e se determine qual é a relação funcional deste com o tempo. Gandin (1988) ressalta que, em medidas

meteorológicas, existe ainda o problema de escalas temporal e espacial. Tal característica faz com que perturbações de escala pequena o suficiente para não serem detectadas pela resolução do instrumento se manifestem como ruído branco. Este erro em meteorologia é conhecido também como ruído micrometeorológico. Além disto, é freqüente a utilização de variáveis dependentes das variáveis medidas, como é o caso da altura geopotencial, produzindo erros correlacionados. Finalmente, os dados meteorológicos podem apresentar erros grosseiros, que podem ser provocados por problemas de processamento ou transmissão dos dados, funcionamento incorreto dos instrumentos ou, ainda, por erros de leitura. Geralmente, estes erros são grandes em magnitude e distorcem de maneira significativa os campos analisados. Por outro lado, estes erros são facilmente detectáveis justamente por causa da discrepância em relação aos demais dados¹.

É possível classificar o controle de qualidade de dados em diversas categorias, segundo Gandin (1988). A primeira delas, muito comum para remoção de erros grosseiros, é a inspeção visual, que, embora subjetiva, é bastante útil ainda hoje, pelo menos na determinação da origem do erro em situações mais complicadas.

Há também o método de consistência espacial, que se baseia no fato de que os valores de uma variável em pontos próximos não devem ser muito diferentes. Entretanto, deve-se tomar cuidado especial ao utilizar-se este método, pois, em regiões tropicais, a ocorrência de fenômenos meteorológicos de escalas menores pode produzir, por algumas horas, diferenças significativas mesmo em pontos adjacentes, dependendo da resolução espacial — a passagem de frentes de rajadas em apenas uma estação, por exemplo, pode produzir tais diferenças.

Outro método bastante utilizado é o da verossimilhança, que verifica os dados de maneira independente e pode ser dividido em dois gêneros: o primeiro, mais simples, rejeita valores impossíveis, sejam estes medidos diretamente (aumento de pressão com a altura) sejam calculados (valores inverossímeis de CAPE, energia potencial disponível para convecção). O segundo, estatístico, consiste em verificar valores suspeitos, que estejam fora de intervalos de confiança de 63 e 95% de probabilidade de ocorrência, por exemplo.

Finalmente, é possível utilizar equações diagnósticas às quais os dados devem obedecer pelo menos em uma primeira aproximação — denominado método de consistência física. Um exemplo deste método é a verificação hidrostática (COLLINS, 1998).

O objetivo deste trabalho consiste em aplicar aos

dados de radiossondagens do experimento WET-AMC/LBA um controle de qualidade envolvendo diferentes metodologias, tais como inspeção visual, métodos de verossimilhança simples e estatística, e métodos de consistência espacial e física. Deste modo, busca-se tornar o conjunto de dados mais representativo das condições locais. Cabe ressaltar que este conjunto de dados é bastante importante nesta região, onde normalmente não há informações meteorológicas em altitude. Assim, a correção deste conjunto de dados permite seu uso em diferentes aplicações para a pesquisa na região amazônica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As sondagens utilizadas foram lançadas nos horários de 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 TMG (4 horas adiantado em relação ao horário local em Rondônia), quando foram executadas oito sondagens por dia, e em alguns destes horários nos demais casos.

Nas estações em que se utilizavam as sondas Väisälä, o procedimento adotado foi, em primeiro lugar, realizar a calibragem de superfície. Neste caso, era aplicada na sondagem uma correção linear nos valores de temperatura, umidade relativa e pressão em função da diferença entre os valores registrados por esta e por um termômetro e barômetro independentes. O sensor de umidade era colocado em um compartimento com sílica, a fim de levar a umidade relativa do sensor da radiossonda a zero — a umidade relativa de referência sempre era zero. Em seguida, enquanto se tomavam as medidas de superfície com um barômetro aneróide e um psicrômetro aspirado do tipo Assmann (que permanecia em um abrigo), a sonda foi levada ao abrigo para que fossem tomadas três medidas, em intervalos de 30 segundos, da temperatura e umidade relativa registradas pela sonda. Apesar de serem tomadas três medidas, preferiu-se utilizar apenas a terceira, uma vez que esta apresentou menor flutuação. Neste trabalho, toda a vez que se referir à 3ª medida será em relação a esta medida. Apenas após este procedimento, a sonda era lançada, sempre tomando o cuidado de esperar a sincronização do GPS da sonda e registrados os ventos. Após o lançamento, era necessário fornecer os dados de superfície.

Nas estações em que se utilizaram as radiossondas VIZ, o procedimento foi obter dados de superfície de pressão através do barômetro aneróide, de temperatura e umidade relativa através de um psicrômetro digital. Os dados de vento em Ouro Preto d'Oeste foram

¹ Na realidade, nem sempre os erros grosseiros têm elevada magnitude, porém pequenos erros grosseiros, não detectáveis, tampouco comprometem seriamente a qualidade dos dados.

obtidos da estação meteorológica automática (EMA) localizada a poucos metros do ponto de lançamento. Em Rancho Grande, no período de 13 a 18 de janeiro, os dados de vento foram obtidos por um anemômetro instalado no local de lançamento da sondagem a cerca de 4 metros de altura, enquanto que entre os dias 9 e 23 de fevereiro, não havia instrumento algum para medi-lo, sendo necessário estimá-lo visualmente. Foram utilizados dois tipos de radiossondas VIZ: sonda VIZ-LOS com sistema de GPS diferencial tridimensional, que mede a altura da sonda, sendo a pressão calculada pela equação hidrostática, utilizando a pressão da superfície como condição inicial; e outra (VIZ-PVT) com sensores de pressão atmosférica. Em ambos os sistemas, os ventos foram calculados pelo sistema de localização GPS e de forma diferencial a partir do vento de superfície.

A inexistência de outras medidas em Rancho Grande, associado ao fato de que houve uma interrupção no funcionamento deste sítio entre 18 de janeiro e 9 de fevereiro, com mudança de instrumentos de referência, impossibilitou qualquer comparação e, conseqüentemente, qualquer alteração nos dados de radiossondagem deste local além da correção de data e horário. Assim sendo, todas as etapas de correção de dados foram aplicadas apenas a RM, RJ e OP.

O controle de qualidade de dados foi dividido em quatro fases. A fase A significa dados sem controle de qualidade algum. Na primeira fase (fase B), utilizou-se um método de inspeção visual (GANDIN, 1988), no qual se verificou se os dados de fato correspondiam ao horário informado no arquivo original e se as unidades de vento, ora em m/s, ora em nós, eram coerentes.

Na segunda fase (fase C), os dados foram submetidos a um método de consistência espacial, comparando os dados de superfície da sondagem e sua coerência com a 3ª medida e as medidas efetuadas por outros instrumentos disponíveis nas EMAs. Este método foi utilizado para verificar a série temporal dos dados de superfície como um todo, verificando principalmente a confiabilidade nos dados obtidos pelos psicrômetros utilizados em RM e RJ. Nos casos em que a série temporal em superfície foi considerada inadequada, optou-se por substituí-la. Em seguida, foi aplicado um método de verossimilhança simples para eliminar alguns dados que ainda apresentaram problemas.

A terceira fase (fase D) consistiu em verificar se houve, nos perfis verticais, trechos das radiossondagens em que as variáveis estiveram fora do intervalo de confiança de 95% da série temporal das medidas efetuadas no sítio (método de verossimilhança estatística).

Para sistematizar a análise dos perfis verticais pelo método de verossimilhança estatística, foram interpoladas todas as sondagens em níveis regulares de 10 hPa, e, de forma independente para cada um destes níveis, determinou-se o intervalo de confiança de 95%, definido entre o valor médio e mais ou menos 2 desvios-padrão. Em seguida, determinaram-se quais dos pontos que estavam fora do intervalo de confiança eram devidos a erros de medida, corrigindo ou eliminando perfis inconsistentes nos casos em que tais desvios fossem devidos a erros dos instrumentos. Ademais, verificou-se nesta fase a ocorrência de inversões no perfil de pressão, ou seja, aumento de pressão com a altura ao invés de queda (método de verossimilhança simples), sendo suprimidos os trechos das sondagens em que isto ocorreu.

Finalmente, na quarta fase (fase E), aplicou-se um método de consistência física, verificando o comportamento da divergência de massa integrada na coluna. Esta análise foi realizada considerando a área definida pelo triângulo, cujos vértices são as estações de RM, RJ e OP. Para simplificar o cálculo, considerou-se o topo da atmosfera como sendo a tropopausa, considerada fixa em 90 hPa, que corresponde a um valor típico encontrado nas radiossondagens da campanha WET-AMC/LBA. O programa desenvolvido calcula a divergência do campo de massa apenas quando há, nas três estações, perfil de vento até pelo menos 70% da altura da tropopausa, embora o método aplicado forneça valores muito mais acurados quando há o perfil completo de vento até 90 hPa. Como a divergência de massa integrada na coluna equivale à variação de pressão, não é razoável que estes valores sejam elevados, haja vista que, na região tropical, não se observam variações muito significativas de pressão. A equação utilizada para esta integração é definida por Machado (2000):

$$\delta = \int_0^{\infty} \rho \vec{V} \cdot \vec{V} dz \cong -\frac{1}{g} \int_{P_{surf}}^0 \vec{V} \cdot \vec{V} dp \cong \frac{1}{g} \int_{90 \text{ hPa}}^{P_{surf}} \vec{V} \cdot \vec{V} dp \quad (1)$$

A fim de se verificar de maneira objetiva o efeito das correções nas radiossondagens, foi calculada a variável termodinâmica CAPE para todas as radiossondagens. A CAPE, definida como energia potencial disponível para a convecção, é uma medida da energia de empuxo acumulada na camada de convecção livre, e é frequentemente utilizada para avaliar o potencial de convecção na atmosfera (BLANCHARD, 1998). Isto porque, ao contrário de diversos índices de instabilidade, a CAPE não considera apenas um nível da sondagem, mas uma integração vertical da diferença entre a

temperatura virtual (T_v) da parcela e do ambiente desde o nível de convecção espontânea (NCE) até o nível de perda de empuxo (NPE). O fato de a CAPE ser calculada a partir de uma integração na vertical (Equação 2), considerando assim toda a sondagem, foi o motivo da escolha desta variável para avaliar o efeito das correções aplicadas às sondagens.

$$CAPE = g \int_{z_{NCE}}^{z_{NPE}} \left[\frac{(T_v)_{parcela} - (T_v)_{ambiente}}{(T_v)_{ambiente}} \right] dz \quad (02)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Correção de data e horário

A correção de data e horário consistiu em comparar o nome dos arquivos das radiossondagens e o horário de lançamento. Observaram-se, em diversas radiossondagens, todas de Ouro Preto d'Oeste, problemas de incompatibilidade no horário de 00 TMG. O lançamento normalmente se dava cerca de 23:30 TMG do dia anterior, porém, no arquivo, deveria constar o dia seguinte, o que nem sempre ocorreu. Deste modo, todas as radiossondagens foram adequadas para esta convenção. Ademais, ainda para Ouro Preto d'Oeste, homogeneizou-se a origem dos dados de superfície, corrigindo-se quaisquer problemas de unidade, especialmente do vento, que estavam em nós e em $m.s^{-1}$ de forma indiscriminada. Para a Reserva Biológica do Jarú, foi detectada apenas uma sondagem com o problema de horário, enquanto em Rolim de Moura nenhuma sondagem apresentou tal problema.

Nesta fase, também foi detectada a ausência de arquivos de algumas sondagens que foram lançadas — existia a folha de dados que era preenchida a cada sondagem — e foram recuperadas duas sondagens da Reserva Biológica do Jarú, oito sondagens de Rolim de Moura e uma sondagem de Ouro Preto d'Oeste.

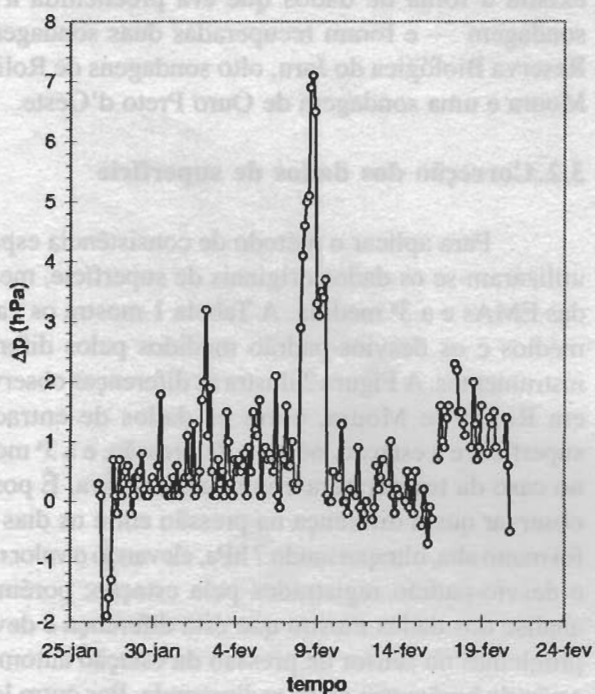
3.2. Correção dos dados de superfície

Para aplicar o método de consistência espacial, utilizaram-se os dados originais de superfície, medidas das EMAs e a 3ª medida. A Tabela 1 mostra os valores médios e os desvios-padrão medidos pelos diferentes instrumentos. A Figura 2 ilustra as diferenças observadas em Rolim de Moura, entre os dados de entrada de superfície e a estação, no caso de pressão, e a 3ª medida, no caso da temperatura e umidade relativa. É possível observar que a diferença na pressão entre os dias 8 e 9 foi muito alta, ultrapassando 7 hPa, elevando o valor médio e desvio-padrão registrados pela estação; porém uma análise dos dados mostra que esta diferença é devida a problemas no sensor de pressão da estação automática, e não do barômetro ou da radiossonda. Por outro lado, é possível notar que há uma descontinuidade na série no dia 16 de fevereiro. Analisando a série temporal da correção aplicada ao barômetro (não exibida), verifica-se que houve uma mudança no valor médio após esta data, surgindo uma componente sistemática do erro. Isto indica que o problema é devido a uma perda da calibragem original do barômetro, possivelmente decorrente de uma queda acidental do instrumento. Assim, optou-se por remover a correção feita pela radiossonda de todo o perfil das radiossondagens de Rolim de Moura.

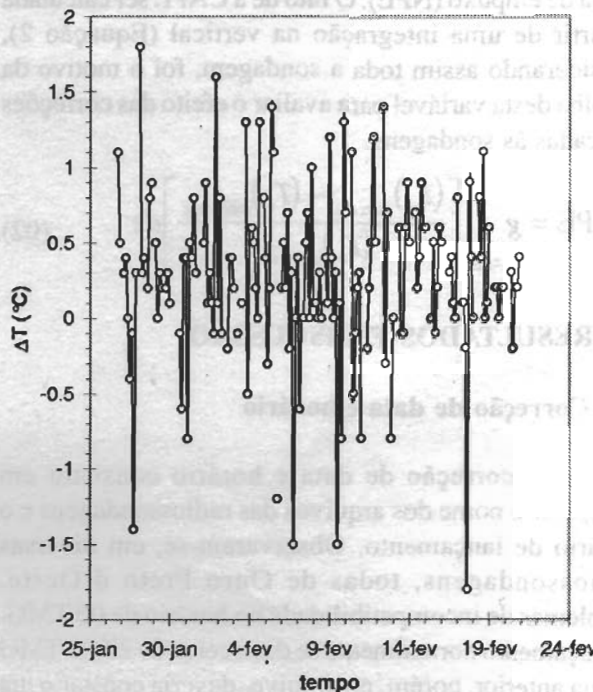
Tabela 1. Valores médios e desvio-padrão da pressão, temperatura e umidade relativa através de diferentes instrumentos, em RM, RJ e OP. A notação *original* refere-se aos dados de entrada da radiossonda (psicrômetro e barômetro) e *EMA* refere-se aos dados das estações meteorológicas automáticas.

Sítio	Dados	p (hPa)	T (°C)	U (%)
Rolim de Moura	<i>Original</i>	983,5 ± 2,1	26,0 ± 3,4	91 ± 6
	<i>EMA</i>	984,4 ± 2,9	26,2 ± 3,0	84 ± 15
	<i>3ª medida</i>	————	25,9 ± 3,1	80 ± 14
Reserva B. do Jarú	<i>Original</i>	993,2 ± 1,8	25,8 ± 2,8	89 ± 10
	<i>EMA</i>	988,8 ± 2,3	25,4 ± 2,4	86 ± 12
	<i>3ª medida</i>	————	25,8 ± 2,8	83 ± 14
Ouro Preto d'Oeste	<i>Original</i>	979,6 ± 1,9	25,0 ± 3,0	83 ± 15
	<i>EMA</i>	979,6 ± 1,9	25,0 ± 2,9	84 ± 18

Série da diferença de pressão
Rolim de Moura-RO



Série da diferença de temperatura
Rolim de Moura-RO



Série da diferença de umidade relativa
Rolim de Moura-RO

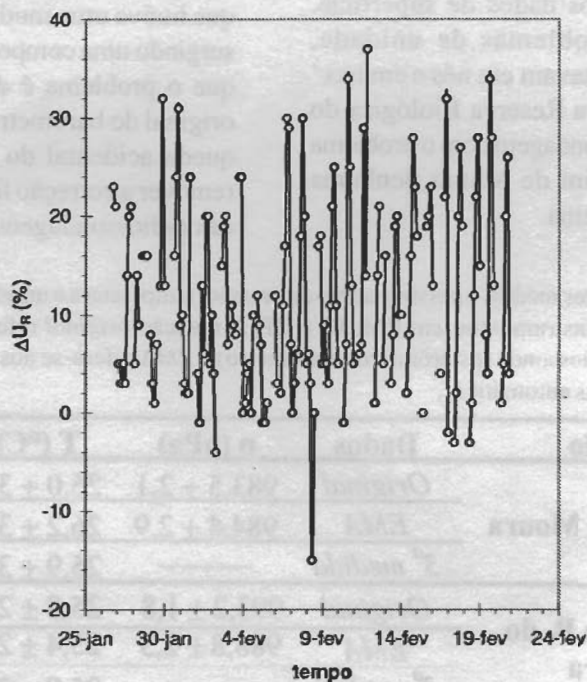


Figura 2. Série temporal da diferença de pressão entre a estação e o barômetro (a), e da diferença de temperatura (b) e umidade relativa (c) entre o psicrômetro e a 3ª medida para Rolim de Moura.

Na Reserva Biológica do Jaru, há uma diferença relativamente grande nos valores médios de pressão, e isto é devido ao fato de que a EMA e o ponto de lançamento não estavam próximos, além de o barômetro da EMA estar instalado a cerca de 50 m acima da superfície. Tais diferenças tornariam inviável qualquer substituição dos dados de superfície pelos da EMA na RJ. Ademais, observou-se que, na série temporal (não exibida) da diferença entre a pressão medida pela estação e pelo barômetro, havia uma tendência — o erro não é aleatório, mas dependente do tempo. Como foi constatado que o problema era devido ao barômetro, também foi necessário remover a correção. Em Ouro Preto d'Oeste, foi necessário corrigir a pressão em apenas alguns casos, já que havia coerência entre os dados da estação e as medidas de superfície.

A Figura 2b, bem como a Tabela 1, mostra que a diferença da temperatura entre o psicrômetro e a 3ª medida em Rolim de Moura não apresentou tendência alguma, tampouco erros sistemáticos, de forma que não foi necessária a mudança de toda a série. Em apenas alguns casos, rejeitados pelo método de verossimilhança simples, já que a sondagem teria uma instabilidade inverossímil — com valores de CAPE superiores a 15000 J/kg — foi realizada a substituição ou até mesmo a eliminação dos dados de temperatura da superfície. O mesmo procedimento foi aplicado na Reserva Biológica do Jaru e em Ouro Preto d'Oeste.

A Figura 2c apresenta a diferença de umidade relativa entre o psicrômetro e a 3ª medida. É possível observar que há uma diferença significativa entre as medidas, em diversas vezes ultrapassando 30%, o que é inaceitável. Isto ocorreu porque, ao analisar a série temporal de umidade relativa do psicrômetro (não exibida), praticamente não se verifica ciclo diurno, com elevado

valor de umidade relativa média, e desvio-padrão relativamente baixo, o que não é razoável.

Além disto, foi feito um periodograma da diferença entre a umidade relativa medida pelo psicrômetro e 3ª medida (Figura 3). O periodograma retorna para cada período possível uma função intensidade (BOX e JENKINS, 1976). Em séries aleatórias, a função intensidade apresenta valores comparáveis para quaisquer períodos, sem máximo algum associado a determinados períodos, pois esta apresenta pontos distribuídos em torno da média de maneira aleatória, sem tendência temporal ou ciclo diurno. Apesar de se esperar que a série da variável diferença entre duas medidas da mesma variável seja aleatória — isto é, sem ciclos ou tendências observou-se um máximo extremamente elevado da função intensidade correspondente ao período de 24 horas, confirmando a ausência de ciclo diurno bem definido no psicrômetro e, conseqüentemente, presença de ciclo diurno na série de diferença. Provavelmente, não se esperava tempo suficiente para que o bulbo úmido atingisse o valor de equilíbrio. Além disto, a gaze que envolvia o bulbo poderia estar mais larga que o necessário, impedindo a ventilação adequada, superestimando a umidade principalmente durante o dia. Como esta mesma característica foi constatada na Reserva Biológica do Jaru, em ambas as estações, a medida original da superfície foi substituída pela 3ª medida, em todas as sondagens. Em Ouro Preto d'Oeste, a umidade relativa foi substituída pelo valor da estação de superfície apenas em casos isolados, uma vez que os dados não estavam muito distantes de uma forma geral. Entretanto, cabe ressaltar que o teste de consistência espacial não pôde ser completamente realizado em Ouro Preto d'Oeste, porque não se fez medida alguma semelhante à 3ª medida.

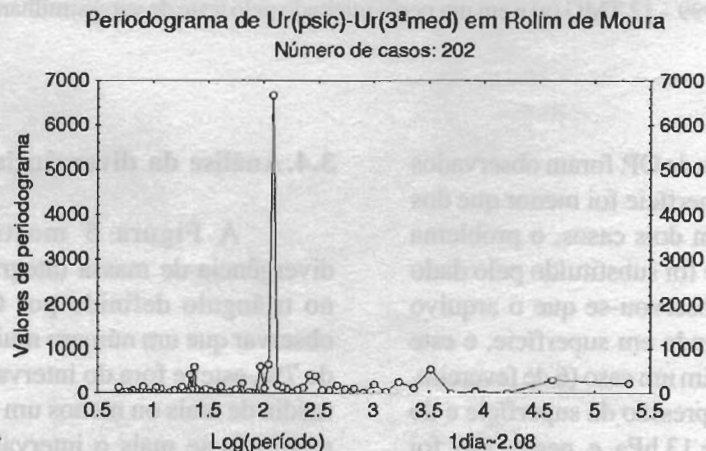


Figura 3. Periodograma da diferença de umidade relativa (%) entre o psicrômetro e a 3ª medida em Rolim de Moura-RO.

3.3. Correção dos perfis verticais

Como se pode observar na Figura 4a, em geral, as sondagens não apresentaram desvios significativos em relação ao perfil do intervalo de confiança de 95%, e, na maioria das ocasiões em que ocorreram estes desvios, não foi verificada a necessidade de substituição ou eliminação dos dados, haja vista que estes desvios não

eram devidos a erros. O perfil de temperatura da sondagem de 1º de fevereiro, 09 TMG, em OP — Figura 4b — foi o único considerado inconsistente: este se mostrou muito deslocado do intervalo de 95%, e os valores de temperatura, inferiores a 10°C logo no 3º nível da sondagem, não eram verossímeis. Conseqüentemente, foi necessário eliminar todo o perfil de temperatura desta sondagem.

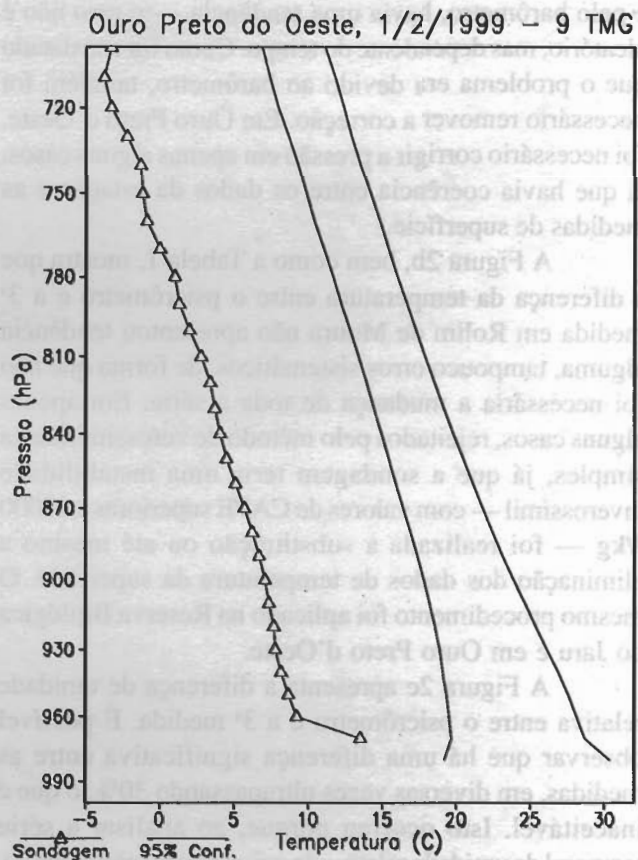
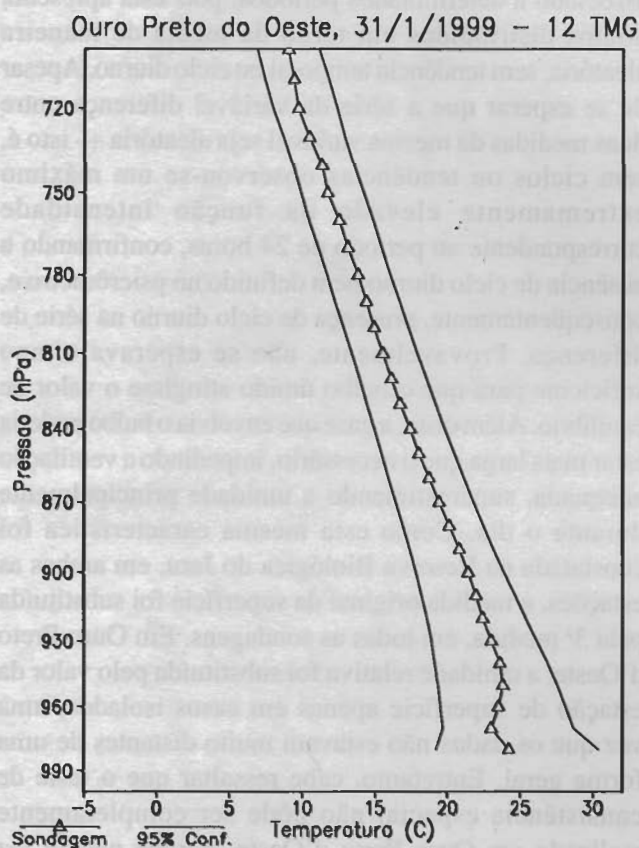


Figura 4. Perfil vertical de temperatura (°C) em níveis baixos (camada 1000-700 hPa) em Ouro Preto d'Oeste para uma sondagem considerada normal, em 31/Jan/1999 – 12 TMG (a) e em um perfil rejeitado pelo teste de verossimilhança estatística, em 1º/Fev/1999 – 09 TMG (b).

Em algumas sondagens de OP, foram observados perfis em que a pressão em superfície foi menor que dos níveis acima (nove casos). Em dois casos, o problema era o valor da superfície, e que foi substituído pelo dado da EMA; em outros casos, observou-se que o arquivo continha medidas da sonda ainda em superfície, e este trecho foi eliminado do perfil. Em um caso (6 de fevereiro, 03 TMG), a diferença entre a pressão da superfície e do nível seguinte era da ordem de 13 hPa, e, neste caso, foi necessário desconsiderar a sondagem inteira.

3.4. Análise da divergência do campo de massa

A Figura 5 mostra a série temporal de divergência de massa integrada na coluna atmosférica no triângulo definido por OP, RJ e RM. É possível observar que um número muito reduzido de casos, cerca de 7%, esteve fora do intervalo de 68% de confiança — média de mais ou menos um desvio-padrão. Neste caso, restringiu-se mais o intervalo de confiança porque os valores esperados deveriam ser muito próximos de zero,

e mesmo os valores fora do intervalo de 68% de confiança, mas dentro do de 95%, estavam bastante afastados de zero.

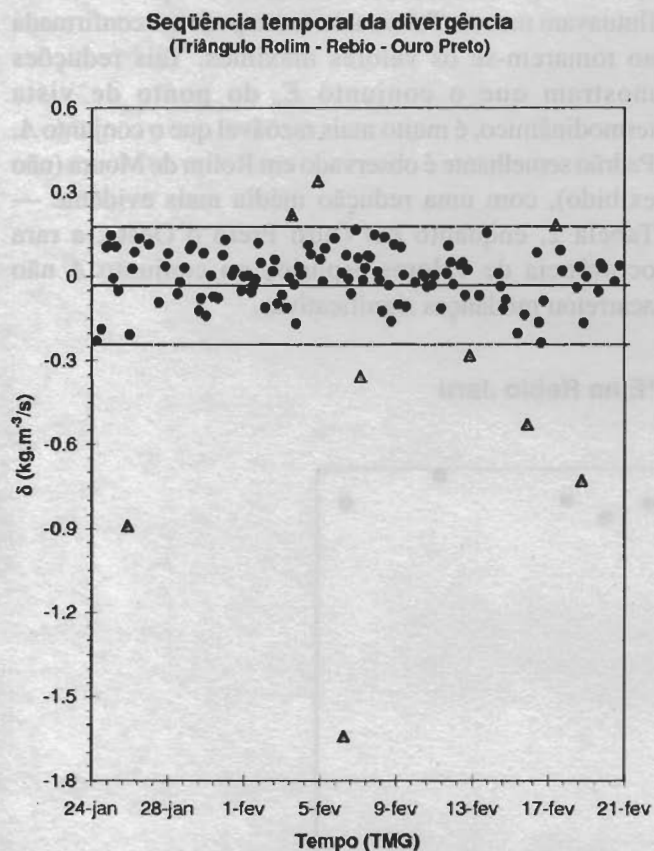


Figura 5. Seqüência temporal da divergência de massa ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no triângulo definido por RM-RJ-OP. A linha escura representa o valor médio e as linhas claras os limites do intervalo de 68% de confiança. Os pontos marcados por triângulo são os casos suspeitos.

Dentre estes casos, não foi observado nenhum que fosse devido a problemas nas medidas: em alguns destes casos, o perfil de vento em OP não estava completo até a tropopausa, acarretando valores pouco acurados, como mostra a Figura 6a. Nos demais, a ocorrência de fenômenos meteorológicos de escala menor que o triângulo justifica a ocorrência de valores elevados de divergência de massa, como se observa na Figura 6b, em que uma linha de instabilidade, que passava no sul de Rondônia, atingiu apenas o sítio de RM, alterando, portanto, o perfil de vento.

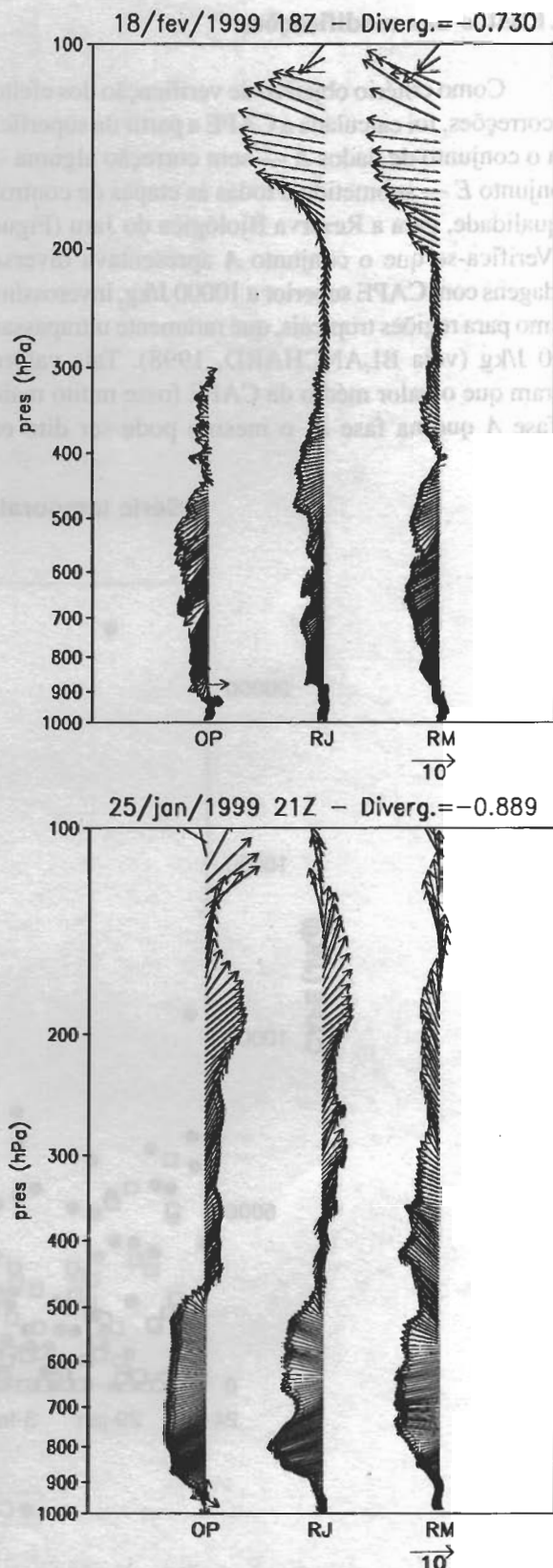


Figura 6. Perfis verticais do vento (m/s) em que a divergência de massa ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) esteve fora do intervalo de confiança de 68% porque o perfil de uma estação estava incompleto (a) e por causa da ocorrência de fenômeno de escala menor que o triângulo (b).

3.5. Efeitos das modificações.

Como critério objetivo de verificação dos efeitos das correções, foi calculada a CAPE a partir da superfície para o conjunto de dados *A* — sem correção alguma — e conjunto *E* — submetido a todas as etapas de controle de qualidade, para a Reserva Biológica do Jarú (Figura 7). Verifica-se que o conjunto *A* apresentava diversas sondagens com CAPE superior a 10000 J/kg, inverossímil mesmo para regiões tropicais, que raramente ultrapassam 5000 J/kg (veja BLANCHARD, 1998). Tais valores fizeram que o valor médio da CAPE fosse muito maior na fase *A* que na fase *E*; o mesmo pode ser dito em

relação ao desvio-padrão, como se observa na Tabela 2. Por outro lado, a remoção ou substituição dos dados de superfície suspeitos fez o valor médio e o desvio-padrão caírem significativamente, indicando que os dados fluuavam menos. Tal característica pode ser confirmada ao tomarem-se os valores máximos. Tais reduções mostram que o conjunto *E*, do ponto de vista termodinâmico, é muito mais razoável que o conjunto *A*. Padrão semelhante é observado em Rolim de Moura (não exibido), com uma redução média mais evidente — Tabela 2, enquanto em Ouro Preto d'Oeste, a rara ocorrência de valores espúrios no conjunto *A* não acarretou mudanças significativas.

Série temporal de CAPE na Rebio Jarú

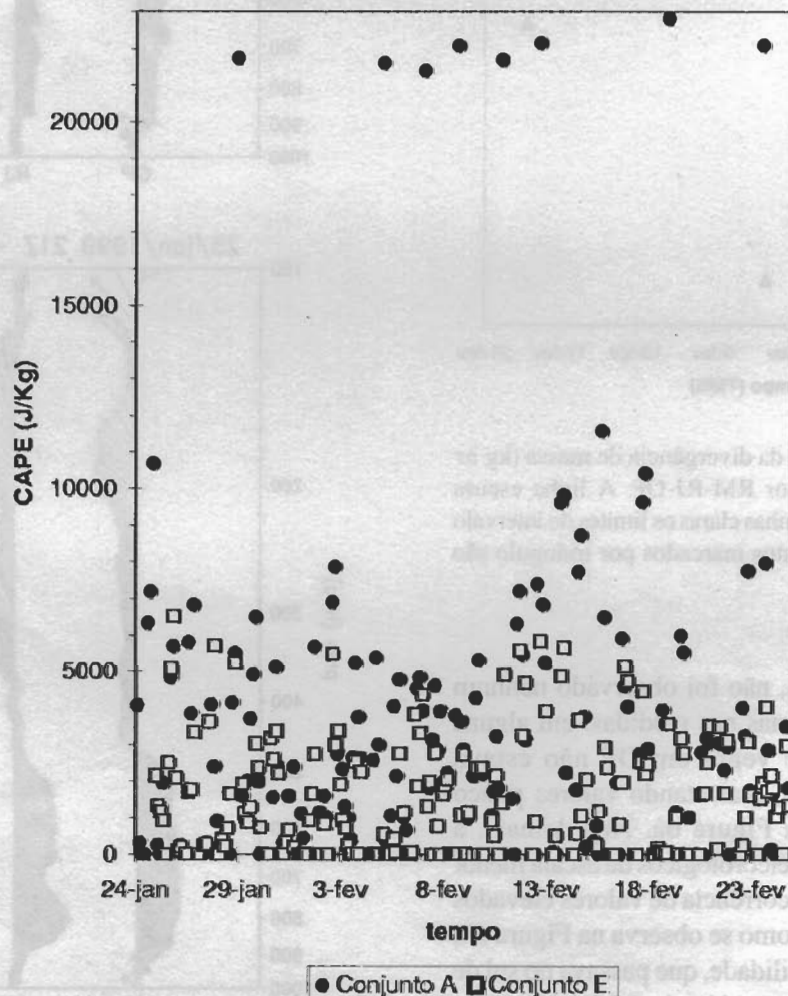


Figura 7. Série temporal de CAPE ($J \cdot kg^{-1}$) na Reserva Biológica do Jarú, calculado com a série de dados original (Conjunto A) e após passar por todas as etapas de correção (Conjunto E).

Tabela 2. Valores médios, desvio-padrão e máximo de CAPE, em J/kg, encontrados para os conjuntos A (original) e E (submetido a todas as fases de controle de qualidade).

		Média	Desvio-Padrão	Máximo
Rolim de Moura	<i>Conjunto A</i>	4 115	4 491	22 086
	<i>Conjunto E</i>	1 631	1 388	5 621
Reserva B. do Jaru	<i>Conjunto A</i>	3 033	4 506	22 819
	<i>Conjunto E</i>	1 465	1 601	6 521
Ouro Preto d'Oeste	<i>Conjunto A</i>	1 206	1 857	21 662
	<i>Conjunto E</i>	1 035	1 199	5 906

4. COMENTÁRIOS FINAIS

Foi observada uma grande variedade de erros nas radiossondagens, como erros aleatórios de manuseio de instrumentos e transcrição de dados, e erros sistemáticos devido à descalibragem de instrumentos. Tais erros foram substituídos ou eliminados dos perfis, e a relevância das correções realizadas foi comprovada no cálculo dos parâmetros termodinâmicos, em que se observou uma significativa melhora naqueles calculados a partir das radiossondagens corrigidas. Além disto, a detecção de erros significativos em alguns dados de superfície, especialmente na EMA de Rolim de Moura, quando se aplicou o método de consistência espacial em superfície, indica a necessidade de aplicar-se um controle de qualidade de dados também em outros conjuntos de dados além das sondagens.

Os problemas encontrados nos dados de superfície devido a erros dos instrumentos, manipulação ou transcrição dos dados sugerem que é muito importante uma prévia seleção e treinamento de equipes para trabalho de campo.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos revisores anônimos pelas valiosas sugestões, a Luís Gustavo Pereira e Marcel Ricardo Rocco pelo auxílio no processamento de parte das fases de controle de qualidade, a Alan K. Betts por importantes sugestões durante o desenvolvimento deste trabalho e a Alexandra Amaro de Lima, Rosa Maria dos

Santos e Demerval Soares **Moreira** pelo suporte dado durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradecimentos à *FAPESP* e ao *CNPq* pelo financiamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOX, G. E. P.; JENKINS G. M. **Time series analysis: forecasting and control**. Oakland: Holden-Day, 1976, 575p.
- BLANCHARD, D. O. Assessing the vertical distribution of convective available potential energy. *Wea. Forecast.*, v.13, n. 3, p. 870-877, 1998.
- COLLINS, W. G. Complex quality control of significant level rawinsonde temperatures. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, v. 15, p. 69-79, 1998.
- GANDIN, L. S. Complex quality control of meteorology observations. *Mom. Wea. Rev.*, v. 116, n. 5, p. 1137-1156, 1988.
- MACHADO, L. A. T. The Amazon energy budget using the ABLE-2B and FluAmazon data. *J. Atmos. Sci.*, v. 57, n. 18, p. 3131-3144, 2000.
- SILVA DIAS, M. A. F., et al. Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon region. *J. Geophys. Res.*, 2002, no prelo.
- VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros**. 2. Ed., São Paulo: Edgar Blücher, 1996, 249p.