

## **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE DIFERENTES SISTEMAS DE SONDAGEM SOBRE RONDÔNIA DURANTE O EXPERIMENTO RACCI/LBA**

**RODRIGO A. F. DE SOUZA e JUAN CARLOS CEBALLOS**

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos,  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE)  
Rodovia Presidente Dutra km 39, 12630-000, Cachoeira Paulista/SP  
E-mail: rodrigo@cptec.inpe.br

Recebido Setembro 2005 - Aceito Agosto 2006

### **RESUMO**

Este trabalho analisa o desempenho do sistema de sondagem AQUA (versão b-30) e do modelo “Inversion Coupled with Imager” (ICI/NOAA-16) para recuperar perfis de temperatura e umidade sobre a região Amazônica, particularmente sobre o estado de Rondônia, durante o experimento de campo “Radiation, Cloud, and Climate Interactions/Large Scale Biosphere-Atmosphere” (RACCI/LBA) realizado nos meses de setembro e outubro de 2002. Nas análises de desempenho dos modelos de inversão observou-se que a inferência de perfis verticais de temperatura e umidade sobre a região Amazônica foram melhor representadas pelo modelo ICI e pelas análises do modelo de Previsão Numérica de Tempo (PNT) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do que pelo modelo de inversão da “National Aeronautics and Space Administration” (NASA). Os perfis de temperatura e de umidade estimados pelo modelo ICI atingiram níveis de qualidade dentro das especificações dos sensores, que prevêem erros de até 1,5 K para os perfis de temperatura e de 1,5 g/kg para os de umidade. Por outro lado, os perfis recuperados pelo modelo de inversão da NASA estão abaixo do nível de qualidade desejado que é de 1 K para o perfil de temperatura e, aproximadamente, 1 g/kg para o perfil de umidade.

**Palavras-chave:** HSB, AIRS, AQUA, ATOVS, ICI, Perfis atmosféricos, Inversão.

### **ABSTRACT: PERFORMANCE OF DIFFERENT SOUNDINGS SYSTEMS OVER RONDONIA DURING RACCI/LBA FIELD EXPERIMENT**

The purpose of this work was to analyze the performance of the AQUA sounding system (inversion model, version b-30) and of the Inversion Coupled with Imager (ICI/NOAA-16) software to recover atmospheric profiles of temperature and moisture over the Amazon region, particularly in the state of Rondonia, during the Radiation, Cloud, and Climate Interactions/Large Scale Biosphere-Atmosphere (RACCI/LBA) field experiment on September and October, 2002. The results of the inversion models to recover atmospheric profiles over the Amazon region showed that the ICI and the Numerical Weather Prediction (NWP) analyses of the “Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos” (CPTEC) had better performance than National Aeronautics and Space Administration (NASA) inversion model. The atmospheric profiles retrieved by ICI are within of the sensor specifications, which foresee errors of up to 1.5 K for the temperature profiles and 1.5 g/kg for the moisture. On the other hand, the profiles estimated from the NASA inversion model do not reach the desired level of 1 K for the temperature profile and approximately 1 g/kg for the moisture.

**Keywords:** HSB, AIRS, AQUA, ATOVS, ICI, Atmospheric profiles, Retrieval.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos, alcançou-se um progresso considerável na recuperação de perfis de temperatura a partir de sensores passivos no infravermelho e em microondas. Dentre os primeiros trabalhos realizados com este objetivo citam-se: Chahine (1968, 1970), Rodgers (1966, 1976 e 1998), Rosenkranz et al. (1982), Smith (1968, 1970, 1991) e Smith et al. (1970, 1976 e 1979). Atualmente, esforços têm se concentrado no desenvolvimento de sondadores com alta resolução espectral, por exemplo, o “Infrared Atmospheric Sounding Interferometer” - IASI (possuindo mais de 8000 canais espectrais) e o “Atmospheric Infrared Sounder” - AIRS (2378 canais). O AIRS é o primeiro sondador avançado de radiação infravermelha operacional com essa característica (Parkinson, 2003). Sua finalidade principal é obter perfis atmosféricos de temperatura e umidade, e dele espera-se prover melhoramentos substanciais, especialmente nas medidas de temperatura, em relação aos instrumentos anteriores (Aumann et al., 2003).

Um acontecimento de importância histórica para a Agência Espacial Brasileira (AEB) e para a agência espacial americana (NASA) ocorreu no dia 4 de maio de 2002, com o lançamento do satélite AQUA na base aérea americana de Vandenberg, na Califórnia. Ressalta-se a participação do Brasil na missão AQUA como colaborador no monitoramento de um sistema sondador de umidade, o “Humidity Sounder for Brazil” (HSB), lançado junto com o AIRS e a AMSU-A (Lambrigtsen e Calheiros, 2003). O conjunto AIRS/AMSU/HSB é considerado o sistema de sondagem mais avançado desenvolvido até agora. Ele incorpora os avanços dos sensores AMSU - A e AMSU - B do NOAA além dos avanços providos pelo AIRS com relação ao “High Resolution Infra Red Radiation Sounder” (HIRS), que dispõe de apenas 20 canais no infravermelho. Com os 2378 canais do sondador AIRS tem-se um aumento significativo na quantidade de informação sobre a atmosfera (Susskind et al., 1998).

O desenvolvimento/aperfeiçoamento de metodologias para recuperação de perfis atmosféricos é de fundamental importância para a Previsão Numérica de Tempo (PNT), principalmente para o Hemisfério Sul onde existe um baixo número de radiossondas. Além disso, devido à grande extensão territorial do Brasil e à existência de áreas remotas como é o caso da Amazônia, torna-se difícil manter redes de observações convencionais. A missão AQUA oferece uma grande oportunidade para coletar dados valiosos que poderão ser utilizados para o avanço do “estado da arte”, particularmente, na seleção de canais para a otimização do procedimento de inversão sob condições tropicais. Dessa forma, estudos que possam contribuir no sentido de utilizar-se de forma mais eficiente as informações obtidas à partir de dados de satélites são necessários. Dentro

desse contexto, o objetivo central do presente trabalho é analisar o desempenho do sistema de sondagem AQUA sobre a região tropical. As análises são realizadas sobre Rondônia, para o período de setembro e outubro de 2002 durante o experimento de campo “Radiation, Cloud, and Climate Interactions/Large Scale Biosphere-Atmosphere” (RACCI/LBA).

Avaliar o nível de qualidade dos perfis verticais de temperatura e de umidade é de grande importância para a previsão de tempo, dado que eles devem ser assimilados nos modelos de previsão numérica de tempo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Nesse sentido, é de fundamental importância quantificar a qualidade dos perfis atmosféricos inferidos a partir das informações do satélite AQUA. Essa análise é realizada através da comparação com o conjunto de dados de radiossondagens, com os perfis atmosféricos gerados operacionalmente na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) a partir de dados NOAA e com as análises do modelo global do CPTEC.

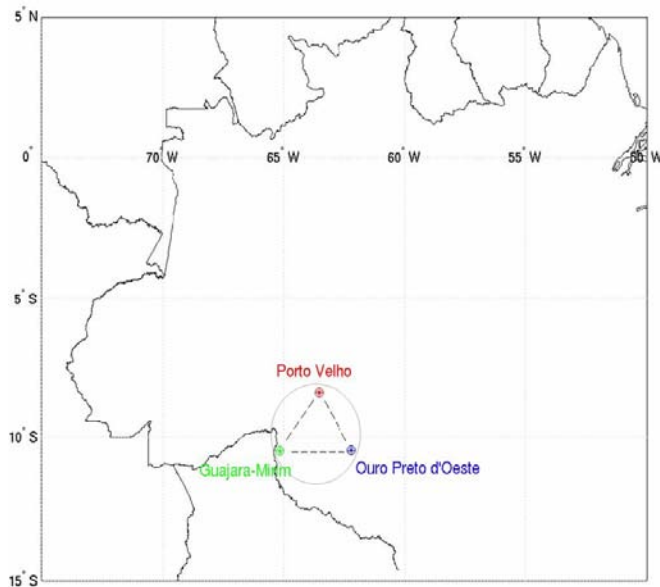
## 2. DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os dados utilizados para a elaboração deste trabalho e uma descrição de como foram feitas as análises de desempenho dos sistemas de sondagens AQUA (NASA) e NOAA-16 (ICI) nos sítios experimentais de Guajará-Mirim, Porto Velho e Ouro Preto d’Oeste. Os dados utilizados são análises de modelo de PNT, perfis verticais de temperatura e umidade obtidos a partir de radiossondas e perfis atmosféricos inferidos a partir de dados dos satélites NOAA-16 e AQUA. Estas informações correspondem a um período de 62 dias, compreendido entre os dias 31 de agosto e 31 de outubro de 2002.

O conjunto de dados AQUA utilizado neste estudo foram os perfis verticais de temperatura e umidade, inferidos pelo modelo de inversão da NASA (versão “off-line” b-30). A versão b-30 do modelo é de fevereiro/março de 2003. É importante comentar que esses perfis atmosféricos foram gerados em caráter experimental, pois este modelo encontrava-se em fase de validação e desenvolvimento. Trabalhos continuam sendo desenvolvidos para o aprimoramento desse modelo de inversão (Susskind et al., 2003 e Susskind, 2003). Esses dados são utilizados na comparação com perfis de temperatura e umidade de radiossondagens e com as análises de modelo numérico.

Os dados de radiossondagens correspondem à campanha chamada RACCI/LBA, realizada em Rondônia, para os sítios de Guajará-Mirim, Porto Velho e Ouro Preto d’Oeste (Fazenda Nossa Senhora), entre os meses de setembro e outubro de 2002, para os horários próximos das passagens dos satélites NOAA-16 e AQUA. Com a participação do Brasil no sondador AQUA (HSB), uma das atividades relevantes para

o projeto é a validação dos perfis verticais de temperatura e umidade inferidos por esse sondador sobre a região Amazônica. Com isso, foi realizada uma campanha de coleta de dados (radiossondagens) no sítio de Guajará-Mirim, Rondônia, em conjunto com a campanha do projeto LBA. Neste caso, os lançamentos das radiossondagens foram realizados nos horários coincidentes com as passagens do satélite AQUA (1:30AM e 1:30PM, hora local). Assim, foram utilizados os dados de radiossondagens das duas campanhas. É importante comentar que esses dados passaram por um controle de qualidade. A Figura 1 ilustra a localização dos três sítios estudados.



**Figura 1** – Localização de três sítios da Campanha “DRY-TO-WET AMC/LBA” de coleta de dados utilizados neste estudo.

Além disso, foram analisados perfis verticais de temperatura e umidade gerados pelo modelo de inversão ICI a partir de dados do NOAA-16, que roda operacionalmente na DSA/CPTEC, e os gerados pelo modelo global de PNT do CPTEC. Foram considerados nas análises todos os perfis verticais inferidos pelo modelo ICI que se encontravam num raio de até 100 km de cada sítio experimental (Figura 1), nos horários próximos das 6 e 18 GMT. No caso do modelo numérico de previsão foram selecionados os pontos de grade que correspondem aos três sítios ilustrados na Figura 1, nos horários das 6 e 18 GMT. Os dados do NOAA-16 foram utilizados porque esse satélite possui as órbitas próximas das do satélite AQUA e, conseqüentemente, passagens próximas dos horários dos lançamentos das radiossondas do experimento de campo. A base de dados iniciais utilizada pelo ICI (operacional) para recuperar os perfis atmosféricos é uma base dinâmica de perfis criados a partir de análises e previsões do modelo global do CPTEC (Lavanant et al., 1999).

Na primeira fase do trabalho, realizou-se uma análise do desempenho do sistema de sondagem AQUA comparando

os perfis de temperatura e umidade recuperados pelo modelo de inversão da NASA com os perfis obtidos pelas radiossondas lançadas nos três sítios do LBA citados anteriormente. Foram utilizadas todas as radiossondas disponíveis com horários próximos das sondagens do satélite AQUA. Como a campanha de validação do sondador HSB (AQUA) limitou-se ao sítio de Guajará-Mirim e como as passagens do satélite AQUA sobre Rondônia são próximas das 6:00 e das 18:00 GMT, as radiossondagens desses horários também foram aproveitadas, o que possibilitou estender as análises aos sítios de Porto Velho e de Ouro Preto d’Oeste.

As análises basearam-se em cálculos de erros médios (viés) e erros médios quadráticos (EMQ). Foram utilizados na comparação com cada radiossonda todos os perfis verticais inferidos sob diferentes condições de nebulosidade e localizados num raio de até 100 km do sítio de lançamento. Similarmente, foram feitas comparações entre os perfis obtidos pelas radiossondas e os perfis de temperatura e umidade obtidos pelo ICI e pelas análises do CPTEC. Com isso, pôde-se analisar o desempenho das diferentes fontes de dados em estimar perfis verticais de temperatura e umidade e verificar qual reproduz com maior precisão os perfis observados.

### 3. ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE SONDAÇÃO AQUA E NOAA-16

Nesta seção analisa-se o desempenho do sistema de sondagem AQUA (versão b-30) e do modelo ICI (versão 3.0) para recuperar perfis verticais de temperatura e umidade. Os perfis atmosféricos recuperados sob diferentes condições de nebulosidade são comparados com as radiossondagens do experimento de campo. Análises do modelo global do CPTEC também são comparadas com os dados de radiossondagens. A Tabela 1 ilustra o conjunto total de perfis utilizados para todo o período do experimento de campo.

#### 3.1. Inferência de Perfis Verticais de Temperatura

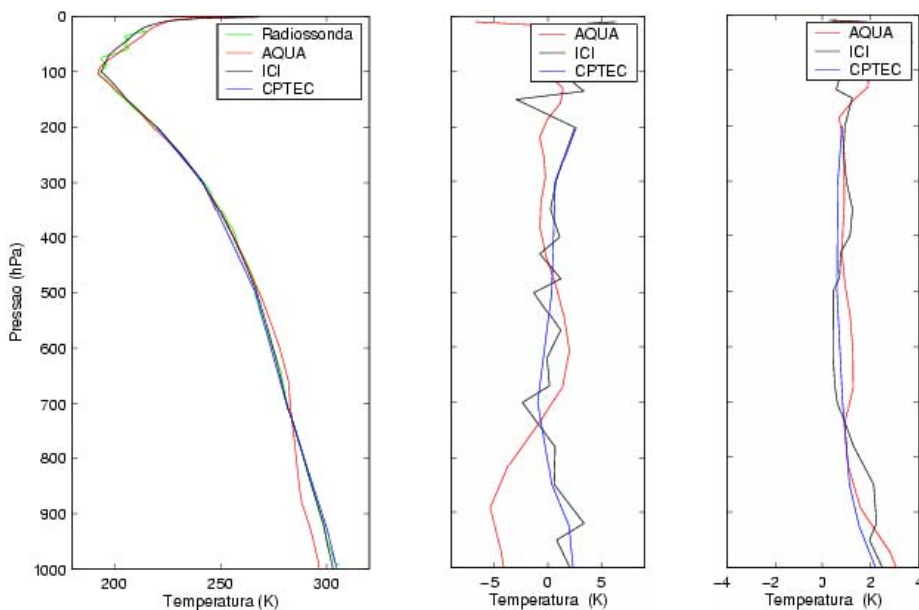
Os resultados da análise estatística para sondagens de temperatura na região Amazônica considerando diferentes modelos são ilustrados nas figuras adiante. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os erros médios (viés) e os Erros Médios Quadráticos (EMQ) entre os perfis de temperatura recuperados pelos diferentes modelos e os dados de radiossondagens para o sítio de Guajará-Mirim, Porto Velho e Ouro Preto d’Oeste, respectivamente. Além disso, as figuras mostram perfis médios de temperatura para um único dia de sondagem com a respectiva radiossonda. O gráfico da esquerda corresponde aos perfis verticais de temperatura, o central ilustra a estatística dos erros médios e o da direita apresenta os EMQ.

**Tabela 1** – Número total de perfis de temperatura e de umidade utilizados nas análises estatísticas.

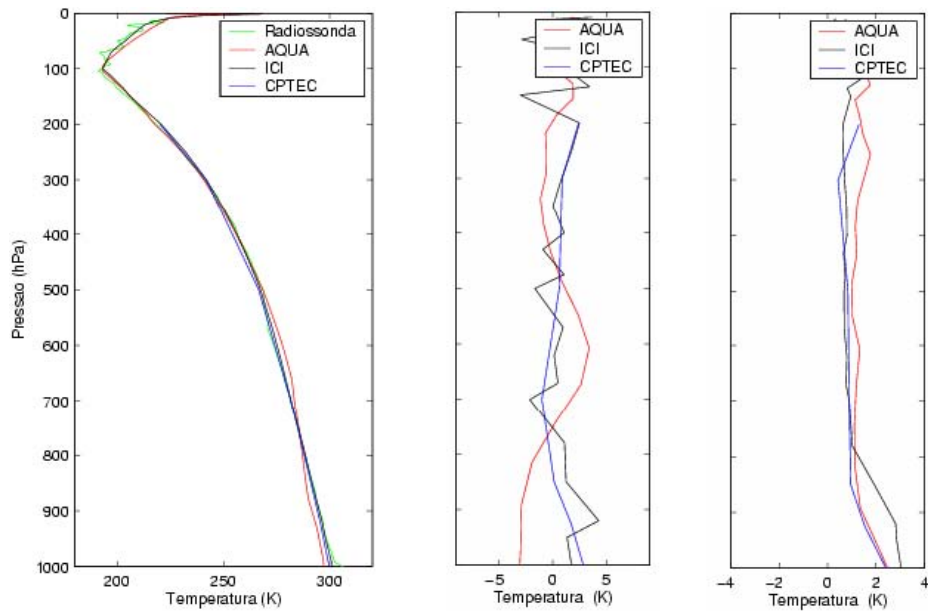
Perfis Verticais de Temperatura e Umidade					
Gujará-Mirim		Porto Velho		Ouro Preto D'Oeste	
Radiossondas	AQUA	Radiossondas	AQUA	Radiossondas	AQUA
14	162	5	68	20	280
Radiossondas	ICI	Radiossondas	ICI	Radiossondas	ICI
12	90	6	43	17	127
Radiossondas	CPTEC	Radiossondas	CPTEC	Radiossondas	CPTEC
44	44	37	37	58	58

Nos três sítios estudados, os perfis verticais de temperatura recuperados pelo modelo de PNT do CPTEC e pelo modelo de inversão ICI são os que apresentam maior concordância com os dados das radiossondas, quando comparados com os perfis recuperados pelo modelo de inversão da NASA. Isso pode ser justificado pelo fato de que: a) os dados das análises do modelo de PNT são em horários sinóticos coincidentes com os lançamentos das radiossondas; b) apesar de existir uma pequena diferença entre os horários de lançamento das radiossondas e a passagem do NOAA-16 (menor que 2 horas), a base de dados iniciais utilizada pelo ICI para recuperar os perfis atmosféricos é uma base dinâmica de perfis criados a partir das análises do modelo global do CPTEC. Devido a isso, espera-se uma maior consonância entre os perfis inferidos pelo ICI e os da análise do modelo PNT do CPTEC.

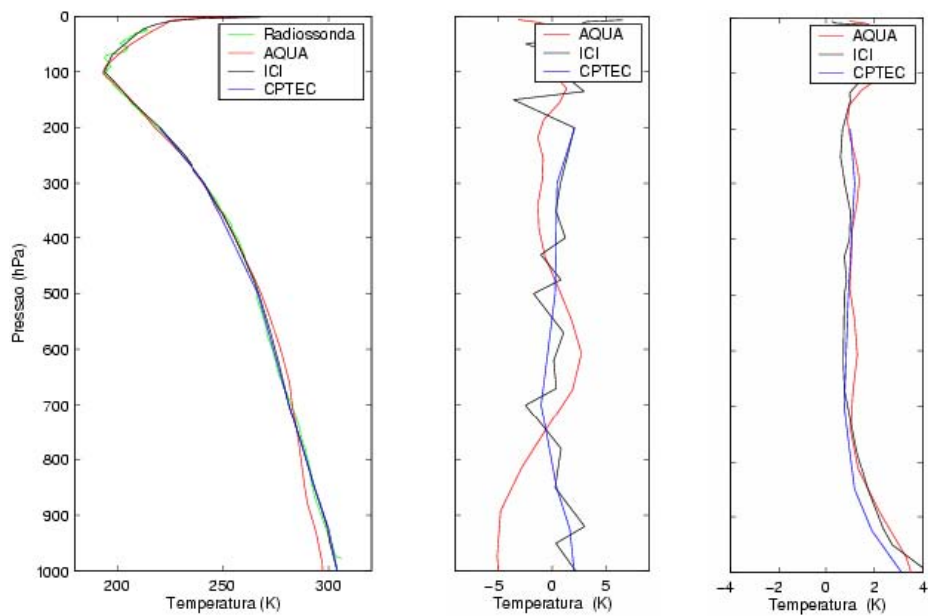
Em geral, os EMQ são similares nos três sítios analisados com os maiores valores localizados entre 1000 e 850 hPa. Em relação ao viés, os maiores valores são encontrados próximo à superfície em todos os sítios analisados para os dados recuperados pelo sistema de sondagem AQUA. Os maiores erros médios encontrados nas análises do modelo de inversão da NASA podem estar relacionados à diferença nos horários do lançamento das radiossondas com as passagens do satélite AQUA sobre a região. Outro fator poderia ser o conjunto de canais selecionados no processo de inversão, que pode não ser o conjunto ideal para ser aplicado sobre a região tropical, em particular sobre a região Amazônica. Além disso, incertezas nas estimativas de parâmetros de superfície como a temperatura e a emissividade podem estar relacionadas a esse fato.



**Figura 2** – Perfis verticais de temperatura para um dia de sondagem (esquerda), erro médio (central) e erro médio quadrático (direita) entre os perfis de temperatura recuperados por diferentes modelos e os perfis observados (radiossondagens), sob diferentes condições de nebulosidade, para o sítio de Guajará-Mirim.



**Figura 3** – Perfis verticais de temperatura para um dia de sondagem (esquerda), erro médio (central) e erro médio quadrático (direita) entre os perfis de temperatura recuperados por diferentes modelos e os perfis observados (radiossondagens), sob diferentes condições de nebulosidade, para o sítio de Porto Velho.



**Figura 4** – Perfis verticais de temperatura para um dia de sondagem (esquerda), erro médio (central) e erro médio quadrático (direita) entre os perfis de temperatura recuperados por diferentes modelos e os perfis observados (radiossondagens), sob diferentes condições de nebulosidade, para o sítio de Ouro Preto d'Oeste.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam o viés e o EMQ, mostrado nas figuras anteriores, para 7 níveis padrões do modelo de PNT do CPTEC em conjunto com os valores médios de temperatura das radiossondagens. Observam-se melhores resultados para os modelos de PNT do CPTEC e do ICI. Além disso, nos três sítios

estudados e na média para a camada entre 1000 e 850 hPa, o ICI e o modelo de PNT superestimam a temperatura com viés médio não superior a 2,5 K enquanto o modelo de inversão da NASA subestima a temperatura com um viés médio de até 4 K no sítio de Ouro Preto d'Oeste.

**Tabela 2** – Viés e EMQ entre os perfis de temperatura inferidos e as radiossondagens para Guajará-Mirim.

Sítio	Guajará-Mirim							
	Temperatura (K)	Média	Erro Médio (viés)			EMQ		
			Pressão (hPa)	Radiossonda	ICI	AQUA	CPTEC	ICI
	1000	300,5	2,1	-3,7	2,4	2,5	3,6	2,2
	925	297,8	3,4	-4,3	2,0	2,2	2,8	1,5
	850	292,7	0,6	-3,7	0,4	2,1	1,1	1,1
	700	282,5	-2,4	1,4	-0,9	0,6	1,3	0,8
	500	266,9	-1,3	0,8	0,4	0,5	0,9	0,6
	300	241,6	0,8	-0,2	0,7	1,0	0,9	0,7
	200	219,0	2,5	-0,8	2,7	0,9	0,8	0,8

**Tabela 3** – Viés e EMQ entre os perfis de temperatura inferidos e as radiossondagens para Porto Velho.

Sítio	Porto Velho							
	Temperatura (K)	Média	Erro Médio (viés)			EMQ		
			Pressão (hPa)	Radiossonda	ICI	AQUA	CPTEC	ICI
	1000	300,7	1,8	-3,2	2,8	3,0	3,1	2,4
	925	297,5	4,3	-3,0	1,7	2,8	2,2	1,5
	850	292,4	1,3	-1,9	0,1	1,9	1,1	1,0
	700	282,5	-2,1	2,6	-1,0	0,9	1,2	0,9
	500	266,9	-1,6	0,9	0,6	0,7	1,0	0,8
	300	241,6	0,8	-0,6	0,9	0,7	1,5	0,4
	200	219,0	2,5	-0,7	2,4	0,6	1,5	1,3

**Tabela 4** – Viés e EMQ entre os perfis de temperatura inferidos e as radiossondagens para Ouro Preto d'Oeste.

Sítio	Ouro Preto d'Oeste							
	Temperatura (K)	Média	Erro Médio (viés)			EMQ		
			Pressão (hPa)	Radiossonda	ICI	AQUA	CPTEC	ICI
	1000	300,8	2,2	-4,8	2,0	4,3	3,9	3,1
	925	298,5	3,0	-5,1	1,7	2,4	3,3	1,9
	850	292,9	0,3	-2,8	0,4	1,7	1,3	1,2
	700	282,6	-2,5	1,9	-1,0	0,9	1,1	0,8
	500	267,0	-1,7	0,5	0,3	0,8	1,0	0,9
	300	241,7	0,8	-0,9	0,5	0,8	1,4	1,2
	200	219,4	2,1	-1,3	2,1	0,7	1,0	1,0

A fim de observar as possíveis diferenças entre os perfis recuperados para diferentes horários, análises similares são realizadas para os períodos matutino e vespertino. O viés e o EMQ entre os perfis de temperatura inferidos e as radiossondas para o sítio de Guajará-Mirim são apresentados na Tabela 5. Maiores erros médios são encontrados no período da manhã para os modelos de PNT do CPTEC e do ICI, ao contrário do que acontece com o modelo da NASA. No entanto, os maiores valores de EMQ são predominantes no período da tarde. O mesmo comportamento foi observado nas análises efetuadas para os demais sítios (não apresentadas).

### 3.2. Inferência de Perfis Verticais de Umidade

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam o viés e o EMQ entre os perfis de umidade recuperados pelos diferentes modelos citados anteriormente, com os dados de radiossondagens para o sítio de Guajará-Mirim, Porto Velho e Ouro Preto d'Oeste, respectivamente. Além disso, são apresentados os perfis médios de umidade para um único dia de sondagem com a respectiva

radiossonda. O gráfico da esquerda apresenta os perfis verticais de umidade, o central corresponde ao viés e o da direita ao EMQ.

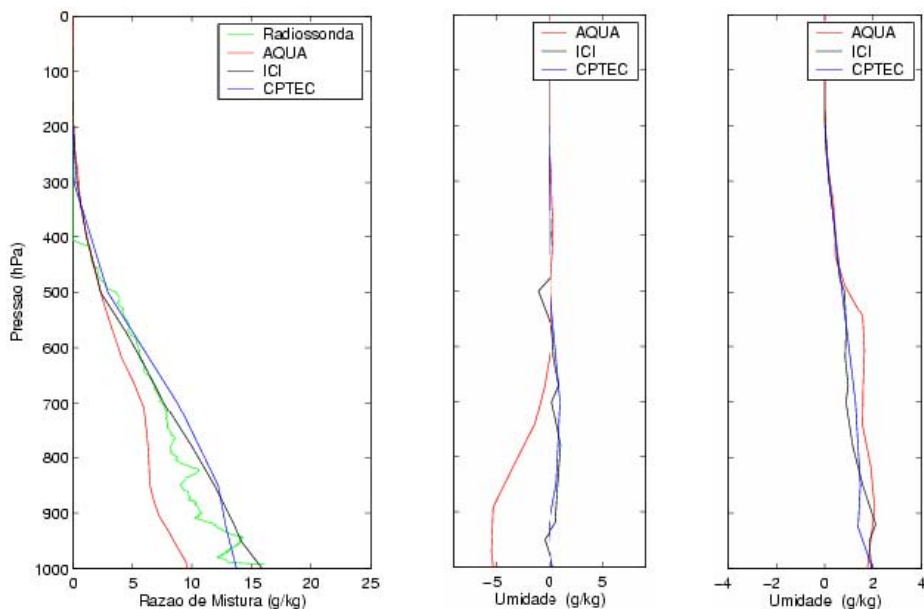
Uma das dificuldades em se recuperar perfis verticais de umidade é a sua grande variabilidade espacial e temporal na atmosfera, particularmente em regiões tropicais. Essa grande variabilidade dificulta a comparação com dados observacionais, fundamental no processo de validação. De maneira geral, nos três sítios estudados os perfis verticais de umidade recuperados pelo modelo de PNT do CPTEC e pelo modelo de inversão ICI são os que apresentaram maior concordância com os dados das radiossondas, comparados com os perfis recuperados pelo modelo de inversão da NASA. A concordância observada nas análises dos perfis de temperatura entre os dados do ICI e do modelo de PNT também é notada para os perfis de umidade. Os EMQ são similares nos três sítios analisados e apresentam os maiores valores entre 1000 e 850 hPa. Além disso, nota-se nos três modelos que em alguns casos há uma tendência de subestimar a umidade na baixa troposfera.

**Tabela 5** – Viés e EMQ entre os perfis de temperatura inferidos e as radiossondagens nos períodos matutino e vespertino para Guajará-Mirim.

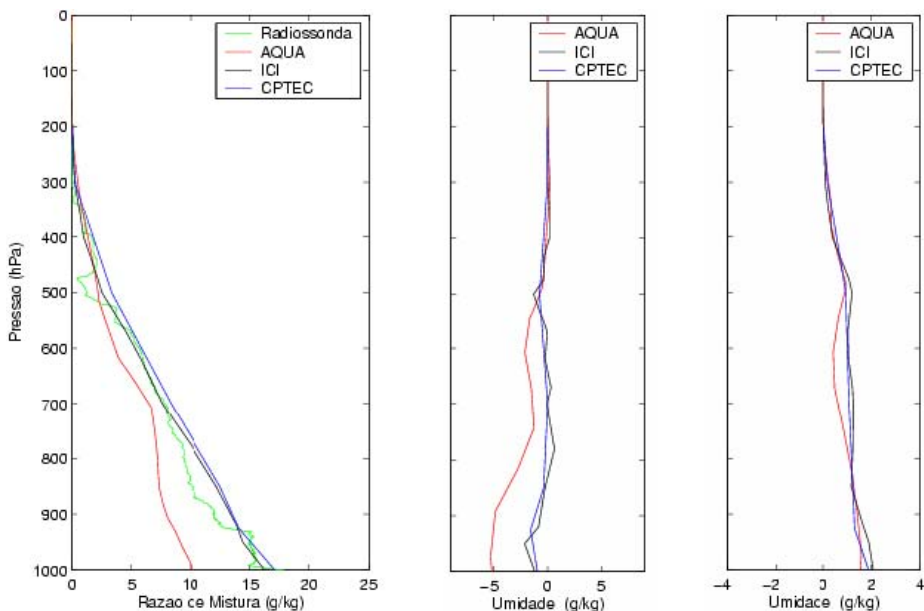
Temperatura (K)	Erro Médio (viés)					
	ICI		AQUA		CPTEC	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
1000	3,4	0,2	-1,9	-5,8	2,8	1,9
925	2,7	4,3	-3,5	-5,3	1,9	2,1
850	0,1	1,3	-3,6	-3,8	0,3	0,5
700	-2,4	-2,3	1,1	1,7	-1,1	-0,8
500	-1,4	-1,2	1,1	0,3	0,4	0,4
300	1,1	0,4	-0,2	-0,2	0,5	0,9
200	2,6	2,3	-0,8	-0,7	2,7	2,6

Temperatura (K)	EMQ					
	ICI		AQUA		CPTEC	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
1000	1,7	2,3	1,8	4,0	1,7	2,5
925	2,0	2,2	1,8	3,4	1,4	1,7
850	1,7	2,5	0,9	1,2	1,0	1,3
700	0,6	0,6	1,5	0,9	0,9	0,8
500	0,5	0,4	0,8	0,8	0,5	0,7
300	1,2	0,4	0,9	1,0	0,7	0,6
200	1,2	0,4	0,8	0,9	0,8	0,8



**Figura 5** – Perfis verticais de umidade para um dia de sondagem (esquerda), erro médio (central) e erro médio quadrático (direita) entre os perfis de umidade recuperados por diferentes modelos e o perfil observado (radiossondagens), sob diferentes condições de nebulosidade, para o sítio de Guajará-Mirim.



**Figura 6** – Perfis verticais de umidade para um dia de sondagem (esquerda), erro médio (central) e erro médio quadrático (direita) entre os perfis de umidade recuperados por diferentes modelos e o perfil observado (radiossondagens), sob diferentes condições de nebulosidade, para o sítio de Porto Velho.





**Tabela 7** – Viés e EMQ entre os perfis de umidade inferidos e as radiossondagens para Porto Velho.

Sítio	Porto Velho						
	Média	Erro Médio (viés)			EMQ		
	Pressão (hPa)	Radiossonda	ICI	AQUA	CPTEC	ICI	AQUA
1000	15,8	-1,2	-4,9	-0,9	2,1	1,5	1,9
925	14,7	-0,8	-5,3	-1,6	1,7	1,6	1,3
850	12,5	-0,2	-2,7	-0,4	1,2	1,2	1,2
700	8,0	-0,1	-1,5	0,0	1,3	0,5	1,1
500	3,0	-1,3	-0,5	-0,7	1,2	1,0	0,9
300	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2
200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Tabela 8** – Viés e EMQ entre os perfis de umidade inferidos e as radiossondagens para Ouro Preto d'Oeste.

Sítio	Ouro Preto d'Oeste						
	Média	Erro Médio (viés)			EMQ		
	Pressão (hPa)	Radiossonda	ICI	AQUA	CPTEC	ICI	AQUA
1000	14,6	0,2	-3,4	-2,3	2,3	1,7	2,1
925	13,5	0,1	-3,6	-1,6	2,0	1,8	1,8
850	12,3	0,2	-2,9	-0,9	1,6	1,7	1,6
700	7,1	0,9	-0,5	0,9	1,2	2,0	1,3
500	2,3	-0,6	0,2	-0,2	1,2	1,2	1,1
300	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2
200	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

As análises realizadas para os períodos matutino e vespertino para o sítio de Guajará-Mirim são apresentadas na Tabela 9. Maiores erros médios são observados no período da manhã e para o modelo de inversão da NASA. Nos demais

modelos, essas diferenças não são significativas. Os valores de EMQ encontrados para ambos os períodos são comparáveis. O mesmo comportamento foi observado nas análises efetuadas para os demais sítios (não apresentadas).

**Tabela 9** – Viés e EMQ entre os perfis de umidade inferidos e as radiossondagens nos períodos matutino e vespertino para Guajará-Mirim.

Umidade (g/kg)	Erro Médio (viés)					
	ICI		AQUA		CPTEC	
Pressão (hPa)	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
1000	0,4	0,3	-5,9	-3,9	0,2	0,2
925	1,1	-0,1	-6,3	-4,4	-0,4	0,2
850	0,8	0,9	-3,8	-2,9	0,5	0,9
700	0,3	0,2	0,0	-1,1	0,7	1,3
500	-1,0	-1,3	0,2	0,0	-0,2	0,4
300	-0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0
200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Umidade (g/kg)	EMQ					
	ICI		AQUA		CPTEC	
Pressão (hPa)	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
1000	1,8	2,1	1,4	1,1	2,1	1,9
925	1,9	2,2	1,7	1,3	1,4	1,3
850	1,5	1,7	1,8	1,8	1,4	1,5
700	0,9	0,8	1,8	1,1	1,3	1,2
500	0,7	1,0	0,8	0,9	0,6	0,7
300	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
200	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

#### 4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este trabalho teve por finalidade analisar o desempenho do sistema de sondagem AQUA (versão b-30) e do modelo ICI (versão 3.0) para recuperar perfis verticais de temperatura e umidade sobre a região Amazônica, particularmente sobre o estado de Rondônia, durante o experimento de campo RACCI/LBA realizado nos meses de setembro e outubro de 2002. Avaliar o nível de qualidade destes perfis é de grande importância para a previsão de tempo, dado que eles devem ser assimilados nos modelos de previsão numérica de tempo do CPTEC.

Com base nos resultados encontrados, observa-se que a inferência de perfis verticais de temperatura e umidade sobre a região Amazônica pode ser melhor representada pelo modelo ICI e pelas análises do modelo de PNT do CPTEC do que pela versão b-30 do modelo da NASA. Nota-se também que os maiores erros são encontrados na camada entre 1000 e 850 hPa. Para os três sítios analisados, o ICI e o modelo de PNT do CPTEC superes-

timam a temperatura nessa camada com valores não superiores a 2,5 K enquanto o modelo de inversão da NASA subestima a temperatura em até 4 K no sítio de Ouro Preto d'Oeste. No caso da umidade para os três sítios analisados, os erros médios não ultrapassam 2 g/kg para os modelos ICI e de PNT do CPTEC, enquanto que os erros encontrados para o modelo da NASA atingem valores próximos a 5 g/kg. É interessante notar que o viés do ICI e do modelo de PNT são próximos. Isto sugere que a base de dados dinâmica utilizada pelo ICI pode estar enviesada pelos dados do modelo de PNT do CPTEC.

Uma das causas relacionadas com os erros encontrados nas inferências de perfis verticais de temperatura e de umidade pode ser a diferença entre os horários das observações, compostas por radiossondagens, e os horários médios das passagens dos satélites NOAA-16 e AQUA (5:30 e 17:30 GMT), particularmente nos sítios de Porto Velho e Ouro Preto, onde não houve lançamentos de radiossondas em horários coincidentes com a passagem do satélite AQUA. Nesses dois sítios foram

utilizadas as radiossondas das 6:00 e 18:00 GMT. Além disso, diferenças nas resoluções espaciais entre as radiossondas e os dados do sistema de sondagem AQUA podem ter influenciado os resultados. Em Guajará-Mirim também foram aproveitadas as radiossondas desses dois horários devido ao reduzido número de radiossondagens em horários coincidentes com os perfis recuperados pelo modelo de inversão da NASA (AQUA). Os dados do modelo de PNT do CPTEC utilizados são para as 6:00 e 18:00 GMT. Com isso, tem-se uma diferença de aproximadamente uma hora entre os dados de satélites e as radiossondas. Essa diferença pode ter sido suficiente para acarretar erros nas camadas próximas à superfície, tanto nos perfis de temperatura como nos de umidade. Além disso, incertezas em parâmetros como a emissividade e a temperatura da superfície podem introduzir incertezas no processo de inferência desses perfis atmosféricos.

Assim, pode-se concluir que os perfis verticais de temperatura e de umidade estimados pelo modelo ICI atingiram níveis de qualidade dentro das especificações dos sensores, que prevêm erros de até 1,5 K para os perfis de temperatura e de 1,5 g/kg para os de umidade (ATOVS Technical Specification) e compatíveis com os encontrados por Carvalho (2002). Por outro lado, os perfis recuperados pela versão b-30 do modelo de inversão da NASA nos sítios estudados estão abaixo do nível de qualidade desejado de 1 K para o perfil de temperatura e, aproximadamente, 1 g/kg para o perfil de umidade (Susskind, 2003).

Um fator importante que influencia diretamente na qualidade dos perfis recuperados é a seleção de canais espectrais ótimos no procedimento de inversão, particularmente para o modelo da NASA (que utiliza apenas alguns dos 2378 canais disponíveis do AIRS). Os resultados anteriores sugerem que o conjunto de canais AIRS selecionados no processo de inversão pode não ser o ideal para ser aplicado sobre a região tropical continental, em particular sobre a região Amazônica. Além disso, vale ressaltar que a base de dados iniciais (“first-guess”) utilizada pelo modelo de inversão da NASA para inferir os perfis atmosféricos (versão b-30) foi uma base de perfis climatológicos. Com a utilização de uma base de dados inicial criada a partir de perfis atmosféricos das análises de modelos de PNT pode-se esperar uma melhora nesses resultados.

Atualmente, uma nova versão (2005) do modelo de inversão da NASA encontra-se instalada e em fase de testes na DSA/CPTEC. Basicamente, esta nova versão do modelo apresenta alguns aprimoramentos em relação à versão anterior. Dentre eles citam-se: um melhor ajuste estatístico no procedimento de inversão, o qual é utilizado para remover diferenças sistemáticas entre as fontes de dados, um novo conjunto de canais AIRS utilizados na inferência dos perfis atmosféricos e a utilização de uma base de dados iniciais criada a partir

de análises de modelos de PNT. Neste contexto, sugere-se o reprocessamento dos dados de satélite para o período do experimento RACCI/LBA com o objetivo de avaliar o desempenho da nova versão do modelo de inversão da NASA/AQUA sobre a região Amazônica.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelos auxílios financeiros recebidos. Também à Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (DSA/CPTEC) e o Laboratório de Espectroscopia Atmosférica da Universidade de Maryland (ASL/UMBC), pelo apoio à realização deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

- AUMANN, H. H.; CHAHINE, M. T.; GAUTIER, C.; GOLDBERG, M. D.; KALNAY, E.; MCMILLIN, L. M.; REVERCOMB, H.; ROSENKRANZ, P. W.; SMITH, W. L.; STAELIN, D. H.; STROW, L. L.; SUSSKIND, J. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, science objectives, data products and processing systems. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 2, p. 253-264, 2003.
- CARVALHO, J. C. Modelagem e análise de sondagens remotas sobre o Brasil utilizando-se o sistema ICI. 2002. 217 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- CHAHINE, M. T. Determination of the temperature profile in an atmosphere from its outgoing radiance. **Journal of the Optical Society of America**, v.58, p. 1634-1637, 1968.
- CHAHINE, M. T. Inverse problems in radiative transfer: Determination of atmospheric parameters, **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.27, p. 960-967, 1970.
- LAMBRIGHTSEN, B. H.; CALHEIROS, R. V. The humidity sounder for Brazil - An international partnership. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 2, p. 352-361, 2003.
- LAVANANT, L.; BRUNEL, P.; ROCHARD, G.; LABROT, T. NOAA15 Soundings profiles retrieved with the ICI scheme. In: International TOVS Study Conference, 10. (ITSC), 27 January - 02 February 1999, Bolder, Colorado. **Proceedings of the Tenth International TOVS Study Conference**, Boulder: ITSC, 1999.

- PARKINSON, C. L. Aqua: an Earth-Observing satellite mission to examine water and other climate variables. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 2, p. 173-183, 2003.
- RODGERS, C. D. **Satellite infrared radiometer: a discussion of inversion methods**. Oxford: Univ. Oxford Clarendon Lab. Mem., n.66.13, 1966.
- RODGERS, C. D. Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v.14, n.2, p. 609-624, 1976.
- RODGERS, C. D. Information content and optimization of high spectral resolution remote measurements. **Advanced Space Research**, v. 21, n. 3, p. 361-367, 1998.
- ROSENKRANZ, P. W.; KOMICHAK, M. J.; STAELIN, D. H. A method for estimation of atmospheric water vapor profiles by microwave radiometry. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.21, n.6, p. 1364-1370, 1982.
- SMITH, W. L. An improved method for calculating tropospheric temperature and moisture from satellite radiometer measurements. **Monthly Weather Review**, v.96, p. 387-396, 1968.
- SMITH, W. L. Iterative solution of the Radiative Transfer Equation for the temperature and absorbing gas profile of an atmosphere. **Applied Optics**, v.9, n.9, p. 1993-1999, 1970.
- SMITH, W. L.; WOOLF, H. M.; JACOB, W. J. A regression method for obtaining real-time temperature and geopotential height profiles from satellite spectrometer measurements and its application to Nimbus 3 SIRS observations. **Monthly Weather Review**, v.98, n.2, p. 582-603, 1970.
- SMITH, W. L.; WOOLF, H. M. The Use of Eigenvectors of Statistical Covariances Matrices for Interpreting Satellite Sounding Radiometer Observations. **Journal of Atmospheric Science**, v.33, n.5, p. 1127-1140, 1976.
- SMITH, W. L.; WOOLF, H. M.; HAYDEN, C. M.; WARK, D. Q.; McMILLIN, L. M. The TIROS-N Operational Vertical Sounder. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.60, n.5, p. 1177-1187, 1979.
- SMITH, W. L. Atmospheric sounding from satellites - false expectation or the key to improved weather prediction? **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.117, n.1, p. 267-297, 1991.
- SUSSKIND, J.; BARNET, C.; BLAISDELL, J. Determination of atmospheric and surface parameters from simulated AIRS/AMSU/HSB sounding data: Retrieval and cloud clearing methodology. **Advanced Space Research**, v.21, n.3, p. 369-384, 1998.
- SUSSKIND, J.; BARNET, C.; BLAISDELL, J. Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.2, p. 390-409, 2003.
- SUSSKIND, J. Early results from AIRS/AMSU/HSB. In: Conference on Remote Sensing and Space Technology, (SPIE), 3- 8 August 2003, San Diego, California. **Proceedings of the Conference on Remote Sensing and Space Technology**, San Diego: SPIE, 2003.