

DESEMPENHO DE SONDAGENS ICI (INVERSION COUPLED IMAGER): COMPARAÇÃO ENTRE O USO DO TIGR E DE UM BANCO DE RADIOSSONDAGENS BRASILEIRAS

Suzana R. Macedo¹ e Juan Carlos Ceballos¹

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo da habilidade do *software* ICI (Inversion Coupled with Imager) na recuperação de perfis atmosféricos de temperatura e umidade sobre o Brasil, processando dados do sistema ATOVS do NOAA-16. Apresenta-se uma comparação introdutória entre as duas opções do ICI para perfil inicial (*first guess*): a) banco de perfis criado a partir de análises do Modelo Global do CPTEC; b) banco climatológico de perfis TIGR. Buscando descrever condições tipicamente encontradas na atmosfera brasileira e tencionando uma eventual substituição do TIGR, foram estruturados diferentes bancos a partir de um extenso conjunto de radiossondagens realizadas sobre o território nacional (em torno de 20 anos para 13 estações). As análises envolveram o tratamento dos dados para fins de padronização, a classificação mediante um utilitário estatístico comercial, o desenvolvimento de um método de classificação próprio e o estudo do impacto dos bancos de dados resultantes na escolha de perfis iniciais pelo ICI. Considerou-se também o caso de limitar o banco de referência aos perfis da série histórica correspondentes ao mês em curso. O processo de validação dos resultados foi realizado comparando com análises do modelo global do CPTEC.

Palavras-chave: **ICI, perfis atmosféricos, inversão.**

Abstract: This work presents a study of the ability of software ICI (Inversion Coupled with Imager) for the retrieval of atmospheric profiles of temperature and moisture over Brazil, when processing ATOVS data from NOAA-16. An introductory comparison is made between two ICI first guess options: a) data base of profiles created from analyses of CPTEC Global Model; b) TIGR climatological data base for profiles. Searching for typical conditions in the Brazilian atmosphere and in order to eventually substitute TIGR data base, different sets of profiles were built from a large set of soundings carried out throughout Brazilian territory (around 20 years for 13 stations). The analyses involved the data processing for standardization purposes, their clustering by means of a commercial statistical software, the development of a specific method of classification, and the study of the impact of the resultant data bases on the choice of initial profiles (first guess) by ICI. It was also considered the case of a data set chosen from original time series but restricted to the same month of the retrieval. Validation of the results was performed through comparison with analyses of the CPTEC global model.

Keywords: ICI, atmospheric profiles, inversion.

1. INTRODUÇÃO

As informações sobre a radiação emitida pela superfície e atmosfera terrestre são fundamentais para a recuperação de perfis atmosféricos através do processo de inversão da equação de transferência radiativa (ETR). Diversos algoritmos para inversão da ETR vêm sendo aplicados. Alguns deles permitiram a inferência de perfis TOVS, como o ITPP (International TOVS Processing Package), o 3I (Improved Initialization Inversion - Chedin et al., 1985) e, inspirado neste último, o ICI (Inversion Coupled with Imager), desenvolvido pelo Centre de Météorologie Spatiale em Lannion, França (Lavanant et al., 1995). Uma característica fundamental do 3I foi a

¹ Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP. E-mail: suzana@cptec.inpe.br, ceballos@cptec.inpe.br

introdução do TIGR (TOVS Initial Guess Retrieval), um conjunto de dados de perfis atmosféricos característicos do globo todo, que foi utilizado também no ICI. A função do TIGR é fornecer um conjunto amplo de perfis que possam ser usados como “first guess” no processo de inversão.

O ICI é um método físico de inversão que parte da escolha de um perfil inicial numa base de dados extensa, tal que produz um espectro de radiâncias emergentes calculadas o mais semelhante possível ao observado pelo TOVS ou ATOVS. Três possíveis bancos de dados a serem utilizados pelo ICI na busca pelo melhor perfil inicial são: (a) um banco dinâmico para processamento em tempo real, composto de análises de um modelo de PNT (previsão numérica do tempo) para a data da observação e arquivos de PNT de dez dias anteriores à observação, e (b) dois bancos de dados fixos de perfis de radiossondagens, o NESDISPR e o TIGR. O ICI dispõe de uma sub-base de dados com cinco perfis de massas de ar (Chedin, 1985), dos quais um é escolhido e tem sua matriz de covariância das temperaturas de brilho ponderando a distância entre as temperaturas de brilho observadas e calculadas. Também possui acoplado um código de transferência radiativa de processamento rápido, o RTTOV (fast Radiative Transfer model for ATOVS), capaz de avaliar radiâncias emergentes em tempo real, e uma interface com o programa AAPP (ATOVS and AVHRR Processing Package) (Klaes e Schraidt, 1999). O TIGR é constituído por 1760 perfis atmosféricos de temperatura e umidade, pertencentes aos dois hemisférios terrestres. No que se refere a perfis sobre o território brasileiro, uma das limitações do TIGR emerge de suas características genéricas, incluindo perfis do mundo todo. Desta forma, para o processamento de sondagens brasileiras torna-se conveniente a criação de um banco semelhante ao TIGR, representativo de condições atmosféricas regionais para ser processado pelo ICI.

O presente trabalho teve por finalidade contribuir para o conhecimento a respeito de sondagens atmosféricas utilizando o ICI. Em um primeiro momento foi estudada a habilidade do ICI em recuperar a estrutura vertical de temperatura e umidade atmosféricas sobre o Brasil, quando utilizado sob condições operacionais, a partir de perfis do modelo global de PNT do CPTEC e também quando processado unicamente a partir das informações do banco climatológico TIGR. Outra parte do estudo concentrou-se em estruturar diferentes bancos de dados de radiossondagens brasileiras, resultando em um banco aprimorado de dados de temperatura e umidade, obtido por agrupamento de um conjunto elevado de radiossondagens brasileiras. Foram definidos três diferentes bancos de dados, passíveis de substituir o TIGR. É apresentada uma comparação de resultados operacionais obtidos na DSA/CPTEC com aqueles provenientes do TIGR e de um dos três bancos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O método de recuperação foi testado com dados do mês de Outubro de 2002. Os dados de satélite correspondem a passagens do NOAA-16 no horário aproximado de 6:00 horas GMT fornecidos pelo CPTEC/INPE e incluem: arquivos de saída do AAPP; imagens AVHRR (canais 3 e 4); dados de análise do modelo global do CPTEC (6UTC); arquivos de dados ASCII correspondentes aos resultados do ICI operacional, cedidos pela DSA/CPTEC.

Foram utilizados os dados de perfis climatológicos que constituem o TIGR e, para a elaboração de um banco brasileiro de sondagens de referência, um conjunto de dados de radiossondagens cedido pelo CTA (Centro Técnico Aeroespacial). Foram extraídos deste banco em torno de 32000 perfis atmosféricos de temperatura e umidade relativa do ar em 36 níveis de pressão padronizados (dados diários das 12UTC para períodos entre 1966 a 1991) obtidos por 13 estações de radiossondagem brasileiras. Campos fornecidos pelo modelo de PNT do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) foram adotados para fins de validação dos resultados finais.

Os 32000 perfis foram reduzidos a subconjuntos, utilizando-se três diferentes critérios. O processo gerou arquivos padronizados, coerentes com a estrutura do TIGR. Os dados do NOAA-16 foram pré-processados pelo AAPP, e processados pelos métodos estático e dinâmico de inicialização do ICI. Os resultados foram comparados com campos de análises de PNT.

a. Formação de bancos estáticos de referência para o ICI

Com o objetivo de reduzir o número de perfis atmosféricos de radiossondagens, de forma a criar um banco de dados de dimensões semelhantes às do TIGR e também considerar apenas os elementos portadores de características atmosféricas distintas, foram testados alguns métodos de classificação e também a separação dos dados segundo a época de sua coleta. A qualidade dos conjuntos resultantes foi avaliada comparando os resultados do seu uso pelo ICI com campos de análise e campos de temperatura e umidade gerados pelo ICI operacional na DSA/CPTEC.

Como um subproduto deste trabalho, foi desenvolvido um algoritmo de classificação, capaz de trabalhar com um conjunto extenso de dados, neste caso perfis atmosféricos.

Primeiro conjunto: CLASS-1. Considerando o total de 32000 perfis de radiossondagens, o algoritmo realizou uma classificação destas variáveis segundo suas similaridades, obtendo elementos representativos das diferentes condições atmosféricas de temperatura e umidade específicas contidas no conjunto total. Foi desenvolvido um método iterativo que consiste em agrupar uma população de perfis em torno de um conjunto tipicamente encontrado na atmosfera, utilizando como critério de semelhança a distância euclidiana entre o perfil a ser classificado e o uma classe. Para ser classificado, um perfil deve possuir distância máxima igual a um valor de referência que decresce a cada iteração. Foram utilizados como classes iniciais um conjunto de

perfis médios mensais brasileiros. A cada iteração são eliminadas as classes cujo desvio quadrático médio são menores que a média dos DQM das classes existentes na iteração anterior. Desta forma, ao final das iterações obtém-se um número de classes o mais distintas entre si.

Segundo conjunto: CLASS-2. Para a definição de um segundo grupo de perfis de temperatura a partir do conjunto original do CTA, os dados foram separados segundo as estações de radiossondagem que os coletaram. Uma vez realizada esta separação, cada sub-conjunto foi processado pelo *software* STATISTICA, segundo o método de agrupamento Médias-K. O método Médias-K é um método não-hierárquico de classificação que produz diretamente uma partição da população de casos ou variáveis em um número fixo de classes, medindo a distância de cada ponto ao centro médio de cada classe. O método é aplicado quando se tem uma hipótese do número de classes em que se deseja classificar esta população. O *software* distribui os objetos da população em K classes aleatórias com os seguintes objetivos: minimizar a distância entre os elementos pertencentes a cada classe e maximizar a distância euclidiana entre as classes. Considerando os limites no número de classes admitido por este *software* e perfis admitidos pelo ICI (2000 perfis), optou-se por classificar os dados de temperatura referentes a cada estação em 150 classes, de forma a obter um total de 1950 perfis de temperatura.

Partindo dos arquivos com informações de perfis de temperatura constituintes de cada classe, foram identificados os perfis de umidade correspondentes a cada um destes. O perfil médio de umidade é tomado como correspondente ao perfil de temperatura (centróide) que representa a classe. Assim, cada classe possui i perfis atmosféricos de temperatura acompanhados de i perfis atmosféricos de umidade. O arquivo obtido (na padrão TIGR) denominou-se de CLASS.2.

Terceiro conjunto: OUT. Optou-se também por separar o conjunto original de perfis pelos meses do ano, considerando apenas aqueles com informação em todos os níveis atmosféricos considerados, sem nenhum tratamento estatístico posterior. Cada um dos doze conjunto criados deu origem a um novo banco a ser inserido no ICI. Ao banco referente ao mês de Outubro deu-se o nome OUT. O OUT conta com 1341 perfis atmosféricos de temperatura e umidade.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através do ICI foram inferidos perfis de temperatura e umidade, nos modos estático (ICI/TIGR, ICI/CLASS.1, ICI/CLASS.2 e ICI/OUT) e dinâmico (ICI/OP). Primeiro são apresentados os resultados de temperatura e umidade nos níveis de 850 e 500hPa, através dos campos horizontais gerados para o dia 01/10/2002, dos campos de diferença em relação à análise do modelo global do CPTEC para esse mesmo dia, dos campos das diferenças médias para o mês de Outubro e do campo de desvios padrões (S) destas diferenças.

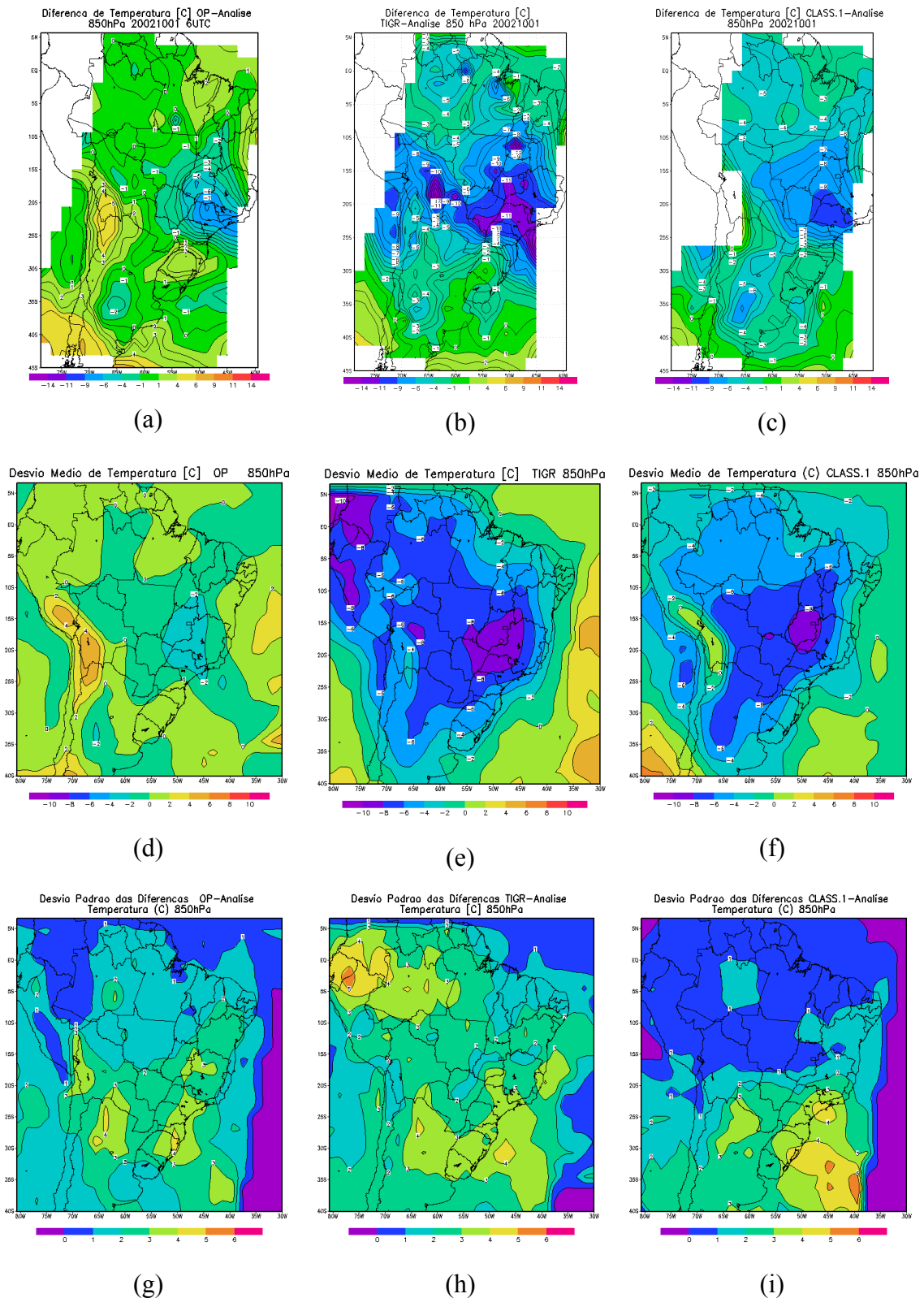


Fig. 1 – Resultados do ICI para 01/10/2002 – temperatura em 850hPa: a) diferença entre ICI/OP e a análise; b) diferença entre ICI/TIGR e a análise; c) diferença entre ICI/CLASS.1 e a análise; d) desvio médio de temperatura entre ICI/OP e análise; e) desvio médio de temperatura entre ICI/TIGR e análise; f) desvio médio de temperatura entre ICI/CLASS.1 e análise; g) desvio padrão entre ICI/OP e análise; h) desvio padrão entre ICI/TIGR e análise; i) desvio padrão entre ICI/OP e análise.

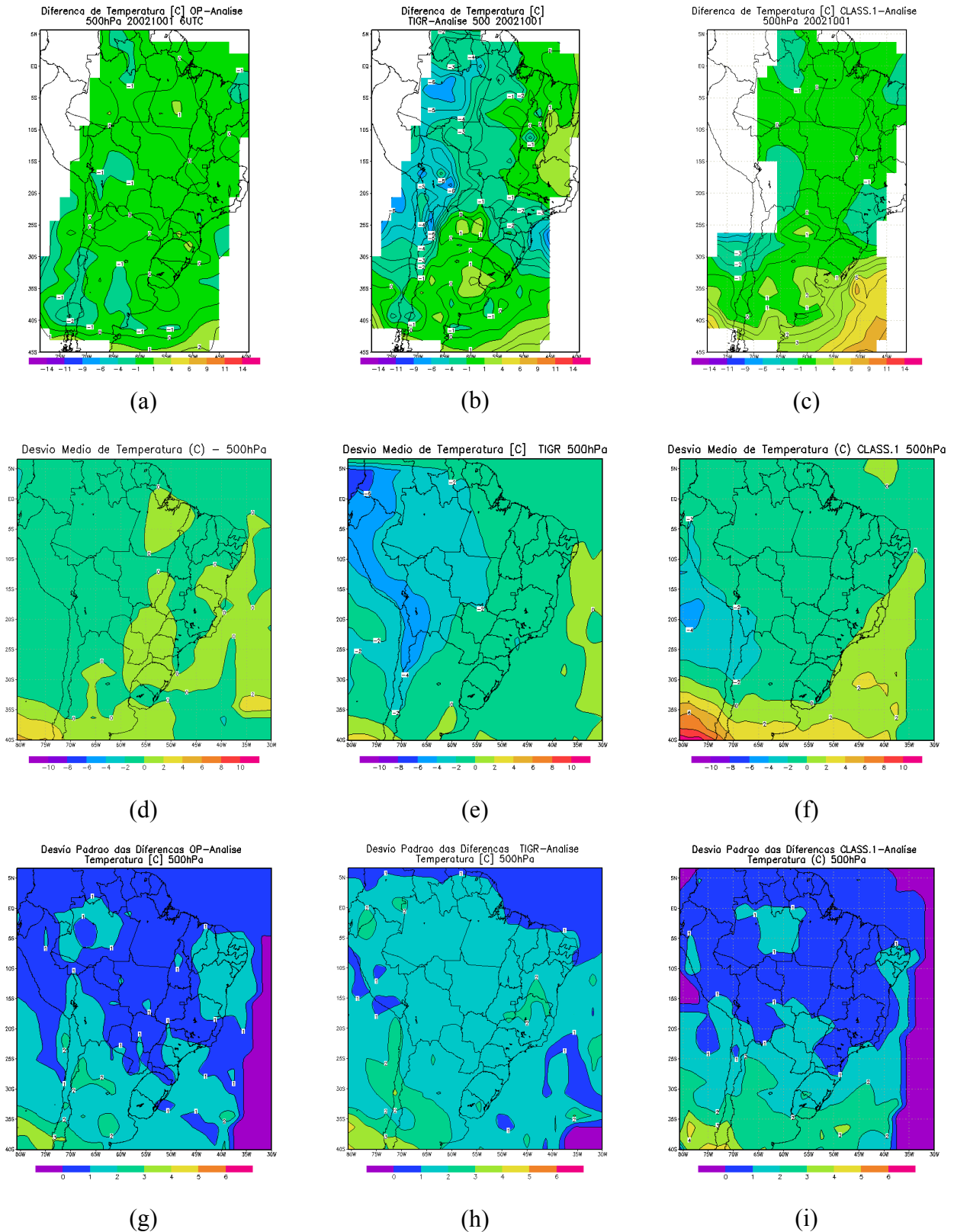


Fig. 2 – Resultados do ICI para 01/10/2002 – temperatura 500hPa: a) diferença entre ICI/OP e a análise; b) diferença entre ICI/TIGR e a análise; c) diferença entre ICI/CLASS.1 e a análise; d) desvio médio de temperatura entre ICI/OP e análise; e) desvio médio de temperatura entre ICI/TIGR e análise; f) desvio médio de temperatura entre ICI/CLASS.1 e análise; g) desvio padrão entre ICI/OP e análise; h) desvio padrão entre ICI/TIGR e análise; i) desvio padrão entre ICI/OP e análise.

Campos de temperatura

Analisando primeiro o ICI processado em caráter operacional (ICI/OP), percebemos que para o campo do dia 01 de outubro em 850hPa (Figura 1a) é encontrado um núcleo de diferença com a análise com valores da ordem de -7 a -9°C sobre a Região Sudeste do Brasil. A Figura 1d mostra valores de erros médios de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ para a maior parte do Brasil e -2 a -4°C sobre a Região Sudeste.

Os desvios observados são maiores que na figura 2 (nível de 500 hPa), fato esperado devido a sua proximidade com a superfície. Sobre a região da Cordilheira dos Andes o ICI/OP mostra uma tendência a superestimar os valores de temperatura. Os maiores valores de S (entre 2 e 4°C) se observam no sul e sudeste do Brasil (Figura 1g), possivelmente associados a ser uma região afetada pela passagem de frentes frias.

As Figuras 1b e 1e ilustram resultados gerados pelo ICI/TIGR. Nota-se que a diferença para um dia e para a média mensal é consideravelmente maior do que no ICI/OP no interior do Brasil, atingindo de -9 a -11°C sobre Minas gerais e Goiás. No litoral do Brasil os desvios médios oscilam entre -2 e -4°C . O desvio padrão fica entre 2 e 4°C , indicando que o núcleo de erro médio elevado foi quase sistemático.

Os resultados do CLASS.1 (Figura 1c) mostraram-se semelhantes aos encontrados através do TIGR, mas as áreas com desvios máximos são menores. O desvio padrão é menor usando o CLASS.1, especialmente na região Norte. Os valores reduzidos de S indicam que, no caso das sondagens realizadas a partir deste banco, os erros esperados tendem a ser sistemáticos e podem ser avaliados pelo campo de erro médio.

Em 500hPa (Figura 2) observa-se que os resultados do ICI/OP e ICI/CLASS.1 foram satisfatórios, apresentando diferenças médias de aproximadamente $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ com a análise sobre o Brasil. O TIGR atingiu desvios médios de até -4°C . O desvio padrão do CLASS.1 não excedeu o valor unitário na maior parte do Brasil, enquanto que o TIGR apresentou valores $1 < S < 2$. Vale mencionar que os outros bancos (CLASS.2 e OUT) tiveram resultados da mesma ordem que os do CLASS.1.

A Figura 3 resume algumas características estatísticas nos níveis de 850 e 500hPa, para quatro estações do Brasil durante o mês estudado. Os dados de análise são adotados como referência. Observa-se que em 850hPa (Figura 3a) os menores desvios padrões são produzidos pelo processamento do ICI/CLASS.1, com exceção de Porto Alegre. Esta estação apresenta em geral maior dispersão dos erros por se tratar de uma região de constantes variações de tempo, devido à passagem de frentes frias. Em geral, os erros médios para o ICI/TIGR mostraram-se da ordem dos encontrados para os demais bancos estáticos, com exceção de Porto Alegre onde são maiores; porém seus desvios padrões são maiores. Do ponto de vista da estabilidade do erro médio, os bancos estáticos CLASS.1, OUT e CLASS.2 mostram em geral baixa flutuação dos desvios.

Para o nível de 500hPa os desvios médios do TIGR para as estações escolhidas são da ordem dos encontrados para o ICI/OP. Para todas as estações, exceto Vilhena, os resultados do CLASS.1 foram os mais satisfatórios, já que apresentam menores desvios médios e menores desvios padrões. Para Vilhena, o melhor resultado foi encontrado pelo ICI/OUT. Para os bancos CLASS.2 e OUT os resultados encontrados são da ordem dos resultados do ICI/OP.

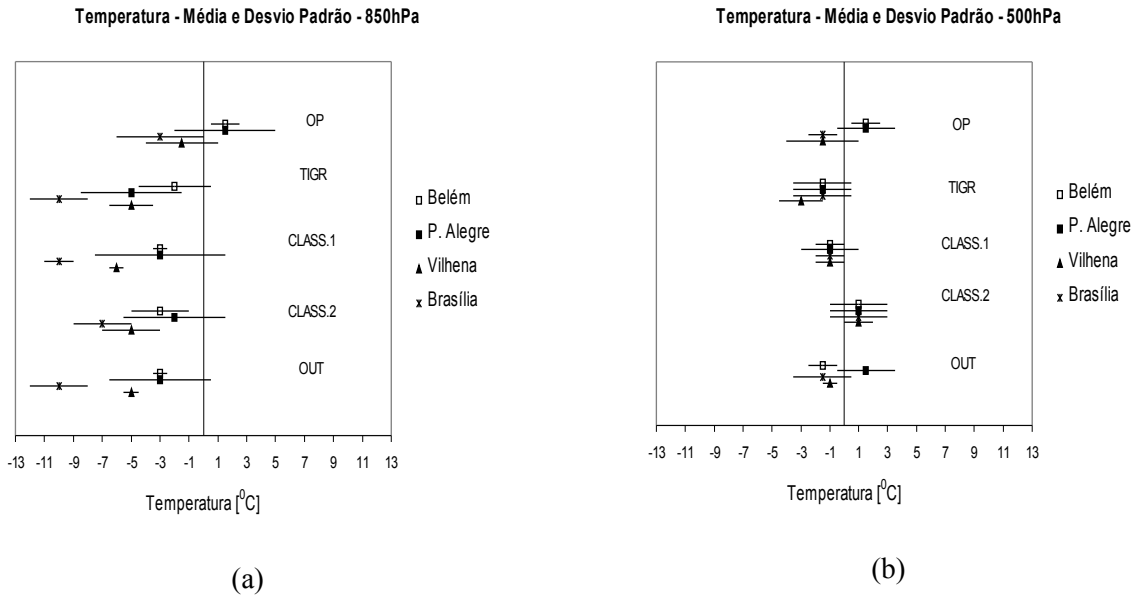


Figura 3 - Média e desvio padrão das diferenças entre os resultados de temperatura do ICI e as análises para outubro de 2002, para as estações de Belém, Porto Alegre, Vilhena e Brasília, a partir dos bancos iniciais OP, TIGR, CLASS.1, CLASS.2 e OUT: (a) 850hPa; (b) 500hPa.

Campos de umidade

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados obtidos para o mês de outubro de 2002 nos níveis de 850 e 500hPa. É possível perceber que em geral as diferenças de umidade específica, como no caso da temperatura, são maiores em baixos níveis, devido aos efeitos da superfície já descritos anteriormente. Observa-se que nos campos de diferenças gerados a partir do ICI utilizando todos os diferentes bancos de dados iniciais disponíveis para este trabalho há uma faixa de valores negativos que segue da Região Sul do Brasil até próximo à Bolívia. O ICI/OP em 850hPa mostra, para o dia 01/10/2002 (Figura 4a), um campo de diferenças com núcleos negativos (-2 a -4g/kg) sobre as Regiões Sul e Sudeste. Estes valores são também encontrados no campo de desvios médios (Figura 4d). A Figura 4g apresenta flutuações que indicam que estes desvios aparecem sistematicamente sobre estas regiões. Para o nível de 500hPa as Figuras 5a, 5d e 5g apresentam melhores resultados. Os erros médios encontrados ficaram entre -2 e 2g/kg (Figura 5d) com baixas flutuações (Figura 5g), sugerindo boa recuperação dos campos de umidade pelo ICI em níveis mais afastados da superfície, em particular 500hPa.

As Figuras 5b, 5e e 5h mostram os resultados gerados a partir do ICI/TIGR. A Figura 5b mostra que os maiores valores de diferença com relação à análise para o dia 01 situaram-se sobre a Região Sul e a Amazônia. Em geral, os desvios médios (Figura 5e) mostraram uma tendência do modelo em sub-estimar a umidade em um gradiente de -2g/kg a -4g/kg sobre o Brasil, acentuando-se no sentido da Cordilheira dos Andes. Os valores de S variam aproximadamente entre 1 e 3g/kg. Em

500hPa (Figura 6) o ICI/TIGR mostra os valores extremos de diferença de aproximadamente -2g/kg apenas para o sul do Brasil e Amazônia. Os desvios médios ficaram entre 0 e 2g/kg para a maior parte do Brasil. Os desvios padrões mostram-se baixos (aproximadamente 1g/kg para todo o Brasil).

O ICI/CLASS.1, em particular para o dia 01 do mês estudado, apresentou melhores resultados que o ICI/TIGR. Sobre a Amazônia e o Rio Grande do Sul, os resultados ficaram muito próximos daqueles produzidos pelo ICI/OP. Os desvios médios tendem a subestimar as análises em até -2g/kg . Os valores de S indicam que, para a maior parte do Brasil, os erros médios apresentam baixas flutuações. No entanto, para o sul são encontrados valores em torno de 3g/kg . Em 500hPa (Figura 7), os erros médios e S ficaram da ordem de 1g/kg , em todos os casos apresentados.

Semelhante ao estudo que foi realizado para o caso dos campos de temperatura, foram selecionados as mesmas estações, ou seja, Porto Alegre, Belém, Brasília e Vilhena, para fins de avaliação da concentração de umidade sobre estes pontos. A Figura 6 apresenta os valores de diferenças médias com a análise e os desvios padrões para os níveis de 850hPa (a) e 500hPa (b). Em 850hPa observa-se que os desvios médios obtidos através dos bancos estáticos são em maioria da mesma ordem que o ICI/OP. Estes resultados distinguem-se nas flutuações que apresentam para o mês de outubro de 2002. Para Belém o resultado mais satisfatório em relação aos desvios padrões foi obtido pelo ICI/OUT. O ICI/TIGR forneceu resultados da mesma ordem do ICI/OP, seguido pelos demais bancos. Para Porto Alegre S apresenta valores ligeiramente mais baixos através do ICI/OP do que para os demais bancos. Para Brasília estas dispersões quando obtidas pelo CLASS.1 equiparam-se aos resultados do ICI/OP, enquanto que o ICI/OUT e o ICI/TIGR apresentam valores maiores. No caso de Vilhena todos os bancos estáticos, exceto o TIGR, produziram resultados da mesma ordem de flutuações do ICI operacional.

Em 500hPa em geral os desvios médios são da mesma ordem para todos os bancos de perfis processados pelo ICI, em torno de -1 ou $+1\text{g/kg}$. Observa-se que, em relação ao desvio padrão, o banco OUT produziu em geral as maiores variações nos resultados. O CLASS.1 produziu resultados comparáveis ao ICI/OP, tanto nos desvios médios quanto em S.

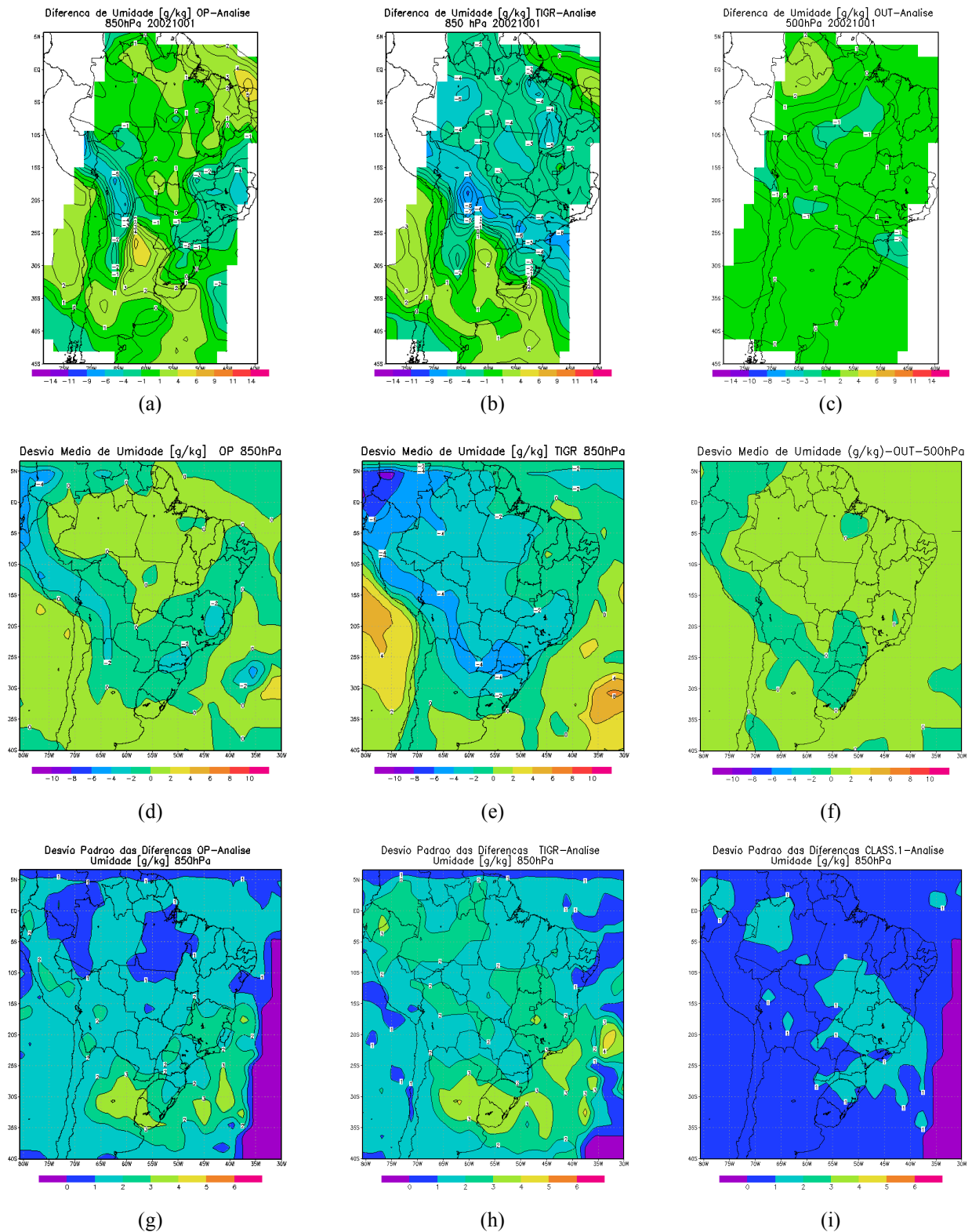


Fig. 4 – Resultados do ICI para 01/10/2002 – umidade em 850hPa: a) diferença entre ICI/OP e a análise; b) diferença entre ICI/TIGR e a análise; c) diferença entre ICI/CLASS.1 e a análise; d) desvio médio de umidade entre ICI/OP e análise; e) desvio médio de umidade entre ICI/TIGR e análise; f) desvio médio de umidade entre ICI/CLASS.1 e análise; g) desvio padrão entre ICI/OP e análise; h) desvio padrão entre ICI/TIGR e análise; i) desvio padrão entre ICI/OP e análise.

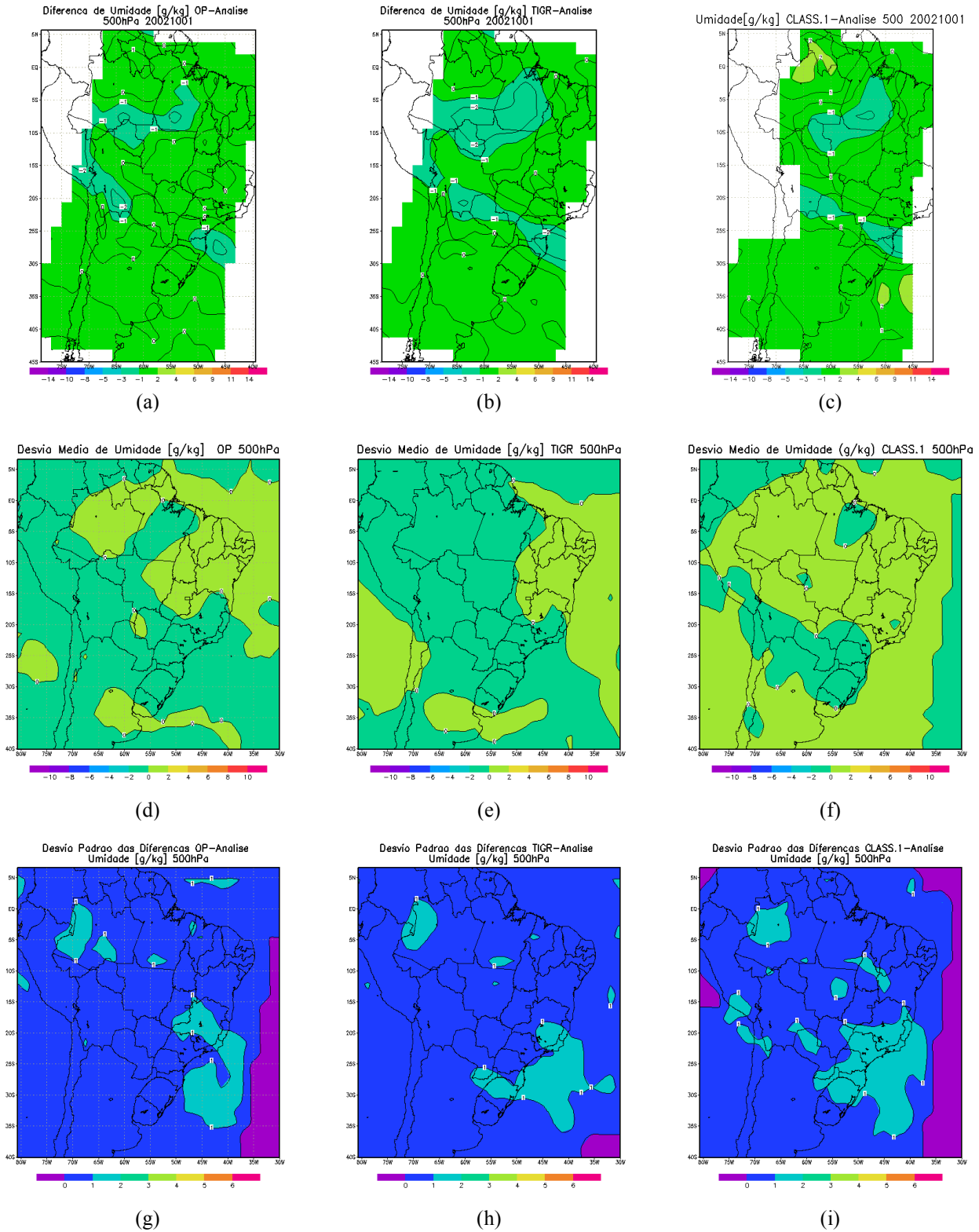


Fig. 5 – Resultados do ICI para 01/10/2002 – umidade em 500hPa: a) diferença entre ICI/OP e a análise; b) diferença entre ICI/TIGR e a análise; c) diferença entre ICI/CLASS.1 e a análise; d) desvio médio de umidade entre ICI/OP e análise; e) desvio médio de umidade entre ICI/TIGR e análise; f) desvio médio de umidade entre ICI/CLASS.1 e análise; g) desvio padrão entre ICI/OP e análise; h) desvio padrão entre ICI/TIGR e análise; i) desvio padrão entre ICI/OP e análise.

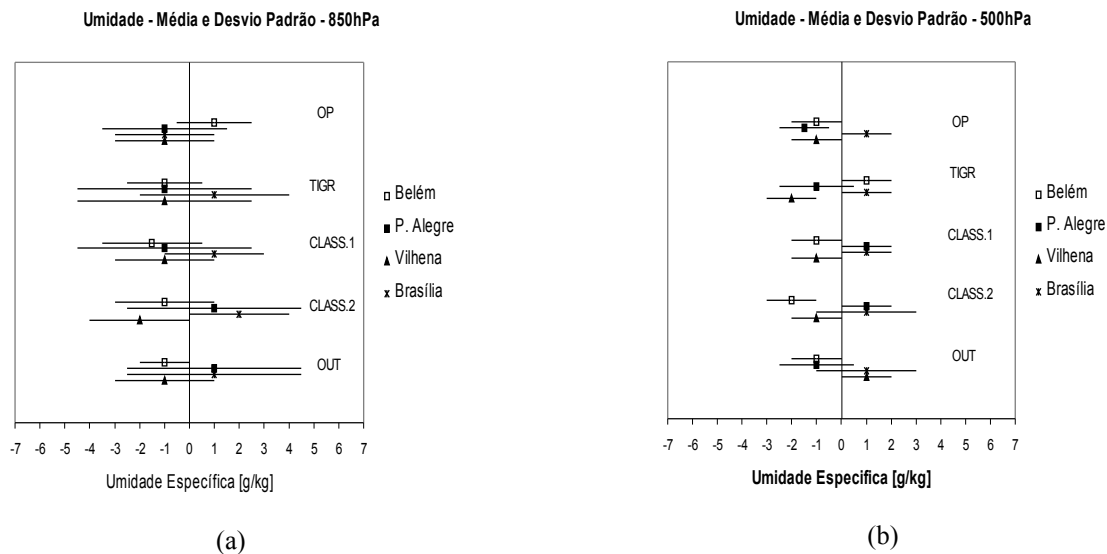


Figura 6 - Média e desvio padrão aproximados das diferenças entre os resultados de umidade do ICI e as análises para outubro de 2002 segundo as estações de Belém, Porto Alegre, Vilhena e Brasília, a partir dos bancos iniciais OP, TIGR, CLASS.1, CLASS.2 e OUT: a) em 850hPa e b) em 500hPa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos e comparando-os com as análises do modelo de PNT, conclui-se que o ICI realiza satisfatoriamente a recuperação da estrutura vertical da atmosfera em termos de temperatura e umidade, quando inicializado a partir de análises de PNT, exibindo maiores diferenças nos resultados para os níveis mais próximos à superfície. Por outro lado, quando inicializada a inversão com um perfil TIGR, os resultados do ICI apresentam diferenças consideráveis em relação às análises.

Considerando que o TIGR não foi criado para atender às necessidades das sondagens brasileiras, já que possui condições atmosféricas diversificadas provindas de várias regiões do planeta, foram criadas três diferentes bases de dados segundo diferentes critérios de agrupamento: CLASS.1, OUT e CLASS.2. Observou-se que os resultados produzidos sobre o território brasileiro por esses dados apresentaram em geral desempenho melhor que o do TIGR.

Apesar de os bancos fixos brasileiros gerarem este impacto positivo nas sondagens ICI sobre o Brasil, no modo estático o ICI apresentou uma maior degradação da estrutura dos perfis em comparação com os campos de análise. Este resultado foi observado para todos os bancos fixos de dados. Observou-se que em presença de nuvens os resultados para os níveis próximos à superfície apresentam maiores erros, possivelmente porque não contam com a informação de superfície do AVHRR. Nestas condições, o modelo tende a subestimar a temperatura nos baixos níveis, prejudicando a utilização das bases de dados fixos, incluindo o TIGR.

Para a base OUT verificou-se que a partir de condições atmosféricas médias brasileiras é possível a obtenção de sondagens de temperatura e umidade mais próximas à realidade do que com o uso do TIGR. Os resultados obtidos pelo ICI a partir da base de dados CLASS.2 sugerem que os

perfis brasileiros de todas as épocas encontradas no conjunto total de dados, classificados por sua similaridade dentro da região a que pertencem, ao serem processados pelo ICI induzem à recuperação de perfis com qualidade similar à daqueles produzidos a partir dos perfis originais correspondentes ao mês de estudo, no caso o OUT.

Desta forma, um processo de agrupamento tornou-se útil para a escolha de perfis típicos das condições atmosféricas brasileiras. Um subproduto deste trabalho foi o algoritmo desenvolvido para a classificação, neste caso, dos perfis atmosféricos. O algoritmo iterativo destina-se a classificar os elementos de um conjunto em relação a centróides, através da mínima distância euclidiana. A cada iteração são eliminados centróides considerados próximos uns dos outros, de forma a ficarem apenas as condições atmosféricas mais diversificadas, representando elementos do conjunto total de dados.

Em particular para a umidade, os bancos OUT e CLASS.1 produziram resultados mais próximos às análises sobre o Brasil que o próprio ICI operacional, considerando a avaliação dos campos horizontais. No caso do CLASS.2, os perfis de umidade encontram-se atrelados à classificação dos perfis de temperatura, não havendo portanto uma consideração quanto às características dos perfis de umidade. Este fato pode ter induzido as sondagens do ICI a erros maiores, quando da utilização deste banco.

Os resultados com a base CLASS.1 sugerem que um pequeno conjunto de perfis de temperatura pode representar, em termos de inicialização do *software*, as condições atmosféricas necessárias à obtenção de perfis de temperatura sobre o Brasil. Assim, aparentemente é satisfatório a obtenção de um conjunto com um número pequeno de perfis de temperatura e um número variado de perfis de umidade. Com base nos resultados obtidos para o CLASS.1, presume-se que muitos dos perfis de temperatura incluídos no CLASS.2 sejam redundantes devido a estes serem previamente por estações de radiossondagem.

Foram encontradas diferenças acentuadas nas estimativas do ICI na região da tropopausa atribuídas, em particular, à utilização de perfis em níveis padronizados de pressão atmosférica. A inclusão de níveis significativos dos perfis poderia aprimorar a interpolação dos perfis para os níveis considerados pelo ICI, que diferem em 10 casos, para níveis de pressão inferiores ao de 80hPa.

No caso da umidade, o ICI tal como é utilizado operacionalmente produz sondagens sobre o Brasil que assemelham-se àquelas produzidas pelo modelo de PNT, o que era previsto já que as análises de PNT compõe o banco de dados iniciais do modelo neste caso. Processando a partir de perfis TIGR, o ICI gera resultados que em média se distanciaram das análises, com relativa dispersão ao longo do mês. Os bancos de perfis desenvolvidos neste trabalho induzem as sondagens do ICI a desvios médios sistemáticos para o período estudado, no entanto, menores que os gerados pela utilização do TIGR. Foi observado porém que, para um estudo de caso em particular, os perfis das análises do modelo de PNT desviam-se dos perfis de radiossondagem, o que sugere que estes poderiam não estar representando adequadamente a umidade atmosférica. Desta forma, os resultados aqui representados não são conclusivos quanto à qualidade dos perfis recuperados pelo ICI a partir dos bancos de dados utilizados, visto as incertezas em relação à qualidade dos perfis das

análises do modelo de PNT. Uma avaliação a respeito do comportamento dos perfis obtidos a partir de análises de PNT frente os perfis de radiossondagens brasileiras seria adequado neste caso.

Em geral, os desvios médios em relação à análise, encontrados para os perfis gerados a partir dos bancos CLASS.1, CLASS.2 e OUT apresentam baixas flutuações o que os torna, de certa forma, previsíveis. Desta forma uma possível maneira de correção dos perfis estimados pelo ICI a partir destes bancos é a utilização das informações dos erros médios, desde que construída uma climatologia apropriada.

Os dados de superfície influenciam fortemente os perfis em baixos níveis, mas a opção ICI em modo estático só inclui esta informação para pixels de céu claro. Recomenda-se, como sugestão para investigações futuras, a introdução de uma rotina que permita incluir dados externos de superfície (temperatura, emissividade), como é realizado durante o processamento do ICI em modo dinâmico. É importante salientar que o presente estudo foi realizado com base nos dados do satélite NOAA-16, que diferem em um período de aproximadamente -6 horas do horário das radiossondagens utilizadas na montagem dos bancos de dados dinâmicos. Esta diferença de horário provavelmente contribuiu no desempenho do trabalho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Borbás, É.; Brunel, P.; Lavanant, L.; Randriamampianina, R.; Szenyáng. Current status for operational processing of TOVS Data at the Hungarian. **Meteorological Service-Technical Proceedings of the Tenth ITSC**, 1999.

Chedin, A.; Scott, N. A.; Wahiche, C.; Moulinier, P. The improved initialization inversion method: a high resolution physical method for temperature retrievals from satellites of the TIROS-N series. **Journal of Climate and Applied Meteorology**. Vol.24, n. 2, p. 128-143, 1985.

Klaes, K. D. e Schraidt, R. The european ATOVS and AVHRR processing Package (AAPP) development. **Tech. Proceedings of the tenth ITSC**, p.288-294, 1999.

Lavanant, L.; Brunel, P.; Rochard, G. **TOVS sounding products at CMS the ICI model**. Tech. Proceedings of the eighth ITSC, p. 319-326. 1995.

Lavanant, L.; Brunel, P.; Rochard, G. NOAA-15 sounding profiles retrieved with the ICI scheme. **Tech. Proceedings of tenth ITSC**, 1999a.

Lavanant, L.; Brunel, P.; Rochard, D. G.; Ardouin, L.; Gendrier, L.; Labrot, T.; Wu, X. **ATOVS retrievals for local HRPT**. Scientific Section. Météo France, 1999b. [on line] <http://www.meteorologie.eu.org/ici/articles/ecmwf_99.htm>

Lavanant, L. **Description document for the ICI-3 sounding software related to meteorological NOAA orbiting satellites.** Vol.1 – Scientific description, Vol.2 Software architecture [on line]. <<http://www.meteorologie.eu.org/ici>> Acesso em 2002a.

Saunders, R.; Matricardi, M.; Brunel, P. An improved fast radiative transfer model for assimilation of satellite radiance. **Q. J. Meteorol. Soc.** v.125, p.1407-1425, 1999.