

**OS ÚLTIMOS AVANÇOS NA PREVISIBILIDADE DOS CAMPOS DE UMIDADE NO
SISTEMA GLOBAL DE ASSIMILAÇÃO DE DADOS E PREVISÃO NUMÉRICA DE
TEMPO DO CPTEC/INPE**

Sapucci, L.F., D.L. Herdies, R.V. Andreoli, J.G.Z. de Mattos, J.A. Aravéquia.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) Centro de Previsão de Tempo e Estudos
Climáticos (CPTEC) Rodovia Presidente Dutra, km 40, 12630-000, Cachoeira Paulista - SP,
Brasil. lsapucci@cptec.inpe.br

RESUMO

Nos últimos anos, duas importantes implementações foram feitas no sistema global de assimilação de dados e previsão de tempo do CPTEC/INPE que tem uma relação direta com a previsibilidade dos campos de umidade. A primeira é a assimilação de valores do vapor d'água integrado na atmosfera (*IWV-Integrated Water Vapor*). A segunda é o aumento da resolução da grade do modelo de previsão de tempo. O objetivo do presente estudo é caracterizar o impacto de tais implementações na melhoria da previsibilidade da umidade. Para isso, três experimentos foram realizados utilizando as versões T126L28 e T213L42 do modelo global do CPTEC, com e sem a assimilação do IWV. Os resultados obtidos mostram que o impacto da assimilação de IWV é maior nas primeiras horas de previsão. Por outro lado, a melhoria na resolução do modelo gera resultados mais significativos para as previsões de médio (após 60 horas) à longo prazo. Em consequência disso, com o uso simultâneo das duas implementações o impacto é combinado gerando um ganho na extensão das previsões válidas do vapor d'água integrado de até 25 horas para Região Tropical e 18 horas para a América do Sul.

Palavras chave: Assimilação de dados; IWV; PSAS; AIRS-AMSU; PNT.

**LAST ADVANCES IN THE PREVISIBILITY OF HUMIDITY FIELD IN THE DATA
ASSIMILATION AND NUMERICAL WEATHER PREDICTION GLOBAL SYSTEM
FROM CPTEC/INPE**

ABSTRACT

The CPTEC/INPE data assimilation system and its weather forecast model received at last years two important implementations directly related with the previsibility of humidity field. The first is the inclusion of Integrated Water Vapor (IWV) data in the assimilation scheme. The second is the increase of the resolution of grid of the weather forecast model. The goal of this paper is to characterize the impact of these implementations in the increase of previsibility. To achieve this goal three experiments were done using the T126L28 and T213L42 versions of the CPTEC's global model, with and without assimilating of IWV. The results show that the impact of assimilation IWV is larger in the first hours of forecast. The increase of model resolution, in other side, gives larger impact at forecast for 60 hours or more. Due to this, the use of simultaneous implementation (IWV assimilation and better model resolution) increase the previsibility of the integrated water vapor up to 25 hours in the Tropical Region and 18 hours in the South America.

Keywords: Data assimilation; IWV; PSAS; AIRS-AMSU; PNT.

1. Introdução

O vapor d'água presente na atmosfera desempenha um importante papel na circulação geral atmosférica sendo responsável pelo transporte de boa parte da energia da superfície para os níveis mais elevados, absorvendo o calor latente de evaporação na superfície e liberando-o na alta troposfera. Nas regiões tropicais, onde o gradiente horizontal de temperatura é pequeno, esse processo é a principal fonte de energia (Holton, 1992). A advecção do vapor d'água e a liberação do calor latente influencia a instabilidade vertical, a estrutura e a evolução de sistemas convectivos atmosféricos.

A característica mais relevante da umidade na atmosfera é sua alta variabilidade temporal e espacial, podendo em um curto período de tempo apresentar oscilações significativas na sua localização. Diversos processos físicos e químicos estão associados à sua concentração. Entre outros processos pode-se citar a evaporação de superfícies aquáticas, a evapotranspiração dos seres vivos (em especial a vegetação), a ocorrência de fenômenos atmosféricos (como orvalho, chuvas e tempestades) e a circulação atmosférica (em especial os processos convectivos). Devido a essa alta variabilidade temporal o desempenho da Previsão Numérica de Tempo (PNT) em prever os campos de umidade para médio e longo prazo é relativamente baixo. Os valores do Coeficiente de Correlação da Anomalia (CCA), estatística frequentemente utilizada para medir o desempenho de um modelo de PNT, para as variáveis associadas a umidade caem, em média, para valores inferiores a 0.6 após as primeiras 36 horas de previsão. Esse valor de 0.6 no CCA é considerado um indicador limite da validade das previsões (Krishnamurti et al. 2003). Assim, as previsões dos campos de umidade são efêmeras, possuem vida útil relativamente curta. Portanto, todas e quaisquer melhorias na previsibilidade dos campos de umidade são relevantes, pois podem impactar diretamente na qualidade final da previsão de tempo operacional.

No Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), nos últimos meses duas novas implementações adotadas na assimilação operacional têm mostrado um impacto direto na melhoria da previsibilidade dos campos de umidade. A primeira é a assimilação de valores do vapor d'água integrado na coluna

atmosférica (*IWV-Integrated Water Vapor*) e a outra é o aumento da resolução da grade do modelo de previsão de tempo.

No que se refere a assimilação do IWV sabe-se que na assimilação de dados o objetivo principal é obter um estado atmosférico mais realístico (Talagrand, 1996) e o seu sucesso está diretamente relacionado com a quantidade e a qualidade de observações atmosféricas disponíveis. Para o caso da umidade, a dependência de observações de qualidade e bem distribuídas espacialmente é intensificada pela alta variabilidade do vapor d'água atmosférico. Sabe-se que a assimilação de valores do IWV é capaz de minimizar os erros do modelo em caracterizar a estrutura vertical da umidade (Kuo et al., 1993) e, conseqüentemente, contribui para a melhoria da qualidade das previsões dos campos de umidade geradas pelos modelos de PNT.

Com relação a segunda implementação, o desenvolvimento de novas tecnologias de processamento, tem-se ampliado significativamente a capacidade computacional dos centros de previsão e por conseqüência a utilização de modelos de maior resolução tem sido viabilizada com o objetivo de se obter um melhor detalhamento espacial das variáveis dos modelos de PNT. No CPTEC/INPE isso tem ocorrido tanto na versão global dos modelos numéricos quanto na regional. Na versão global houve uma modificação na resolução utilizada, passando da resolução T126L28 (aproximadamente 100x100km na horizontal e 28 níveis na vertical) para a resolução T213L42 (aproximadamente 60x60 km e 42 níveis na vertical) e na versão regional passou de uma grade de 40x40 km para 20x20 km (distâncias aproximadas próximas ao equador). Com a utilização de modelos de melhor resolução obtêm-se uma melhoria na capacidade dos modelos em caracterizar melhor os campos de umidade e, portanto, mais sensíveis as oscilações espaciais dessa variável.

Considerando os pontos destacados acima, o presente trabalho tem por objetivo mostrar o impacto de estas implementações na melhoria da previsibilidade dos campos de umidade gerados pelo sistema global de assimilação e previsão de tempo do CPTEC-INPE. Para isso, foram realizados três experimentos: um utilizando a resolução T126L28 sem a assimilação do IWV, um segundo com a mesma resolução e com a assimilação do IWV e um terceiro

utilizando a resolução T213L42 com a assimilação do IWV. Na próxima seção são apresentados os detalhes relevantes associados ao aumento da resolução do modelo global do CPTEC e a assimilação de valores do IWV. Detalhes dos experimentos realizados, bem como dos dados utilizados, são apresentados na seção 3. Na seção 4 são apresentados os resultados obtidos ao comparar os resultados gerados nos três experimentos. Na seção 5 é apresentada uma análise dos resultados obtidos, avaliando o impacto da assimilação do IWV e da modificação da resolução, bem como a ação conjunta dessas duas implementações. Na seção 6 são apresentados os comentários finais e conclusões.

2. Implementações visando a melhoria da previsibilidade dos campos de umidade

A eficiência do Modelo de Circulação Geral Atmosférica (MCGA) em gerar previsões confiáveis depende do desempenho do sistema de assimilação em representar da forma mais fiel possível o estado da atmosfera em um dado instante (Kalnay, 2003), e do próprio modelo em representar adequadamente as equações que governam o sistema como um todo. Mas reproduzir adequadamente a distribuição da umidade como é encontrada na natureza ainda é um grande desafio por dois motivos principais. O primeiro é a necessidade de modelos globais de alta resolução e o segundo é a quantidade de dados de umidade disponíveis com cobertura global e uniformemente distribuídos. Ambos os motivos estão associados à alta variabilidade espacial do vapor d'água na atmosfera, a qual requer sistemas de assimilação de dados que permitam a utilização maciça de dados de satélites sondadores de umidade e modelos eficientes na parametrização física dos processos que ocorrem na superfície e envolvam o vapor d'água atmosférico. Levando ao limite, os modelos precisariam resolver os processos físicos sem o uso de parametrizações, que são simplificações dos complicados processos que envolvem o vapor d'água e outros gases, mas isso ainda não é possível não só pela capacidade computacional como também pela carência de conhecimento científico mais precisos. Com o aumento da quantidade de dados assimilados o tempo de processamento para que o sistema de assimilação encontre uma solução apropriada cresce consideravelmente. Em consequência disso, há uma demanda significativa pelo aumento da capacidade computacional nos centros de previsão de

tempo. Esse aumento na capacidade computacional pode ser traduzida em melhoria do desempenho dos processadores (execução de maior quantidade de processos em menor tempo), envolvendo eficientes processos de troca de mensagens entre processadores (MPI e OpenMP, por exemplo), e na capacidade de armazenamento de dados (espaço em disco). Seguindo uma tendência mundial, no CPTEC/INPE tem havido um significativo aumento da capacidade computacional com a aquisição de um novo supercomputador escalar com 1100 processadores, e a aquisição, ainda em 2008, de outro supercomputador com maior capacidade de processamento. Essa ampliação permite que o centro vislumbre a possibilidade de se utilizar operacionalmente sistemas de assimilação de dados e modelos de previsão com maior resolução contribuindo com a previsibilidade dos campos de umidade.

2.1. Assimilação do IWV na PNT

A mais confiável fonte de informação da umidade na atmosfera é proveniente da temperatura do ponto de orvalho medida pelas radiossondas, as quais apresentam os menores erros, comparados a outros instrumentos. No entanto, estes dados estão concentrados sobre os continentes e observa-se uma lacuna tanto na resolução temporal como espacial. Os lançamentos operacionais das radiossondas são em geral feitos duas vezes ao dia, as quais se concentram, em sua maioria, no Hemisfério Norte. Além do número de lançamentos serem inadequados, essa configuração não privilegia a vasta região oceânica que cobre o globo, em especial o Hemisfério Sul. É evidente que apenas as radiossondagens não são suficientes para caracterizar adequadamente a distribuição global de umidade e que outras fontes dessa informação, como os satélites sondadores de umidade, devem ser exploradas.

No processo de assimilação de dados objetiva-se obter uma estimativa ótima do estado da atmosfera, de forma que a representação seja a mais realista possível, ao combinar observações com as previsões de curto prazo do modelo de previsão de tempo, usualmente de 6 horas e, definidas como *First Guess* (doravante denominado FG) (Talagrand,1996). Essa estimativa é considerada ótima no sentido de que o “erro da estimativa” seja minimizado. No processo de assimilação há o operador de observação responsável por transformar variáveis

prognósticas do modelo (componentes zonal e meridional do vento, altura geopotencial e umidade específica) em variáveis observadas. Com a implementação de operadores apropriados esse sistema permite utilizar observações não convencionais como perfis de radiância (satélites sondadores), refratividade [medidas derivadas das observações do sistema GPS (*Global Satellite System*) (Bevis et al., 1992)] e perfis do raio e ângulo de curvatura da refratividade (radiocultação GPS) (Wikert et. al., 2001), entre outras.

Para a assimilação dos valores do IWV há a necessidade de um procedimento adicional, pois como se trata de um valor integrado, tal observação está diretamente relacionada não apenas com uma observação, mas com todos os valores do perfil de umidade do FG. Em tal procedimento o valor integrado é convertido em um perfil de umidade explorando sua relação direta com o perfil de umidade específica. Na metodologia clássica aplicada a esse processo, a idéia básica é fazer com que os valores do IWV inicializados (IWV_{FG}) tendam aos valores observados (IWV_{obs}). Para isso, o perfil de umidade específica do modelo é modificado enquanto é mantida a estrutura vertical da umidade (Kuo et al, 1993).

A metodologia mencionada acima foi apresentada inicialmente por Gal-Chen et al. (1986) na assimilação de outros valores integrados e depois por Kuo et al. (1993) aplicado aos valores do IWV, sendo este o trabalho pioneiro na assimilação dessa variável. Kuo et al. (1993) utilizando um método de assimilação baseado em relação newtoniana (*nudging*) (Stauffer e Seamen, 1990) mostrou que assimilação do IWV (valores provenientes de um rede de radiômetros), corrige a estrutura vertical da umidade e melhora a previsão de precipitação de curto prazo. Utilizando essa mesma metodologia com diferentes fontes de dados outros pesquisadores apresentaram resultados que evidenciam a importância da assimilação do IWV. Esse é o caso de Ledvina e Pfaendtner (1995) com a assimilação de valores de IWV do SSM/I no sistema de assimilação do *Goddard Space Flight Center* (GEOS-1 DAO), os quais mostraram uma redução significativa do viés da umidade nas análises geradas. Smith et al (2000) aplicaram a mesma metodologia para a assimilação de valores do IWV, provenientes de redes de receptores GPS (*Global Satellite System*) instaladas nos EUA, no *National Oceanic*

and Atmospheric Administration (NOAA) Forecast Systems Laboratory e mostraram um impacto positivo na previsão de umidade de curto prazo.

3. Detalhes dos experimentos realizados

Para verificar os benefícios obtidos com a inclusão do IWV e com a modificação da resolução dos modelos de previsão utilizados na assimilação foram realizados três experimentos cíclicos de assimilação de dados. O sistema de assimilação utilizado foi a versão 2003 do *Physical-space Statistical Analysis System* (PSAS) (da Silva e Guo, 1996; Cohn et al., 1998) e o modelo global de PNT utilizado foi o CPTEC (Kinter et al., 1997, Tomita et al, 2006) nas resoluções T126L28 e T213L42. O período utilizado para os experimentos foi o mês de abril de 2007 e as diferentes rodadas são referenciadas pelas seguintes denominações:

- **T126semIWV**: PSAS com o MCGA na resolução T126L28 sem assimilação do IWV;
- **T126comIWV**: PSAS com o MCGA na resolução T126L28 com assimilação do IWV;
- **T213comIWV**: PSAS com o MCGA na resolução T213L42 com assimilação do IWV;

Os valores do IWV considerados nesse estudo são provenientes de sondagens do sensor AIRS/AMSU (*Atmospheric InfraRed Sounder/Advanced Microwave Sounding Unit*) à bordo do satélite AQUA. No processamento dos dados coletados por esse sensor foi utilizada a versão 4 do algoritmo da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (Susskind et al. 2003). Considerando alguns indicadores de qualidade produzidos nesse processo, foram descartados valores com qualidade degradada, e para aumentar a eficiência do processo de assimilação foi aplicado um filtro para reduzir a quantidade de dados utilizados. As passagens do satélite AQUA sobre a América do Sul estão concentradas as 06 e 18 UTC. A figura 1 mostra a distribuição espacial dos valores do IWV fornecidos pelo sensor AIRS/AMSU e disponíveis para a assimilação.

Figura 1

Em todos os três experimentos, além dos dados do IWV, foram assimilados valores de altura geopotencial proveniente de perfis de temperatura medidos por satélites NOAA, do tipo ATOVS [Advanced TIROS (Television Infrared Observation Satellite) Operational Vertical

Sounder] (Reale, 2002) e do satélite AQUA (sensor AIRS/AMSU); Medidas das componentes zonal e meridional do vento sobre os oceanos, provenientes do satélite Titan II, missão QuikScat (*Nasa's Quik Scatterometer*); Valores de altura geopotencial, temperatura, pressão, umidade específica, vento zonal e meridional proveniente de sensores instalados em navios, aviões, bóias oceânicas e em estações meteorológicas de superfície e ar superior, disponíveis no GTS (*Global Telecommunication System*). O conjunto de dados utilizados são provenientes de processos operacionais no CPTEC/INPE, e portanto a quantidade utilizada aqui é semelhante a disponível para as rodadas operacionais.

4. Métodos de Avaliação e resultados obtidos

Para avaliação da melhoria da previsibilidade dos campos de umidade foram calculados os valores do CCA para as variáveis diretamente associadas ao vapor d'água atmosférico. Essa estatística foi escolhida, pois ela mede o desempenho do modelo ao avaliar a correlação entre a anomalia de um campo da previsão e uma anomalia de um campo da análise, não levando em consideração a magnitude do campo e sim sua coerência espacial (Krishnamurti et al. 2003). Para o cálculo das anomalias são utilizados campos de médias mensais climatológicas geradas a partir de análises do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) em um período de 12 anos (1987-1998). Os valores do CCA são obtidos aplicando a seguinte fórmula:

$$CCA = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [(\alpha_{i,j}^P - \alpha^C)(\alpha_{i,j}^A - \alpha^C)]}{\left\{ \left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\alpha_{i,j}^P - \alpha^C)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\alpha_{i,j}^A - \alpha^C)^2 \right] \right\}^{1/2}} \quad (1)$$

na qual o símbolo α representa uma variável qualquer, os índices A, P e C representam, respectivamente, as análises, as previsões e a climatologia. Os índices I e J representam o número total de pontos de grade nas direções x e y, respectivamente.

Para avaliar o impacto tanto da assimilação do IWV como da modificação da resolução nos campos de umidade, as variáveis escolhidas foram o campos do IWV e a umidade relativa

em diferentes níveis de pressão (925 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa, 300 hPa e 250 hPa). Embora nas camadas acima de 500 hPa a umidade apresenta-se reduzida, análises em 300 e 250 hPa são apresentadas devido ao forte impacto na radiação e por consequência nas previsões de mais longo prazo. Enquanto os valores do IWV, por serem valores integrados, podem fornecer informações da melhoria global da previsibilidade do perfil de umidade, os valores de umidade relativa permitem avaliar o impacto dessas melhorias em diferentes camadas da atmosfera. Nessa avaliação, três diferentes regiões foram consideradas: Hemisfério Sul (HS) entre 80S-20S, Região Tropical (TR) entre 20S-20N e América do Sul (AS) entre 50S-10N, 80W-30W.

Na figura 2 são apresentados os valores do CCA do IWV obtidos nos diferentes experimentos realizados em função do tempo de previsão para o (a) Hemisfério Sul, (b) Região Tropical e (c) América do Sul. Observa-se nesta figura que as diferenças entre os valores do CCA são mais significativas nas regiões Tropicais e da América do Sul do que na região do Hemisfério Sul. Por esse motivo estas regiões serão focadas na análise dos valores da umidade relativa.

Figura 2

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os valores do CCA da umidade relativa obtidos nos diferentes experimentos em função do tempo de previsão em (a) 925 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa, (d) 500 hPa, (e) 300 hPa e (f) 250 hPa, para as regiões tropical e da América do Sul, respectivamente.

Figura 3

Figura 4

Um resultado importante e que deve ser destacado na comparação entre os valores do CCA gerados nas diferentes rodadas avaliadas (Figuras 2, 3 e 4), é a extensão das previsões estatisticamente aceitáveis (valores do CCA maiores que 0.6). Observa-se de forma geral que com as implementações efetuadas houve uma ampliação do intervalo de tempo de integração do modelo onde as previsões geradas podem ser consideradas estatisticamente aceitáveis (daqui para frente esse intervalo será denominado extensão das previsões válidas). Há um traço horizontal nesse limiar de 0.6 em todos os plots das figuras 2, 3 e 4, para evidenciar a extensão

das previsões válidas. Como pode ser notado na Figura 2b, na rodada sem a assimilação do IWV a última previsão considerada estatisticamente aceitável, ou válida, é de 48 horas. Com a assimilação do IWV observa-se que as previsões de 66 horas também podem ser consideradas válidas, ou seja, com essa implementação houve uma ampliação da extensão das previsões válidas de 18 horas. Caso sejam consideradas a melhoria da resolução e a assimilação do IWV simultaneamente, essa ampliação passa a ser de 25 horas. Essa ampliação pode ser considerada um aumento da capacidade do modelo de PNT em prever o comportamento de uma determinada variável. A tabela 1 mostra os valores da ampliação da extensão das previsões válidas obtidas com a assimilação do IWV, com o aumento da resolução e com a ação conjunta de ambas as melhorias para o Hemisfério Sul (HS), Região Tropical (TR) e América do Sul (AS). Os valores apresentados nessa tabela foram calculados algebricamente a partir dos pontos pertencentes as curvas com valores iguais a 0.6.

Tabela 1

Além da ampliação da extensão das previsões válidas um outro resultado a ser destacado é o aumento da correlação de anomalia para as previsões de 6 horas. Melhorias na qualidade desses campos (que devido ao processo cíclico são utilizados como FG da rodada seguinte) podem trazer uma contribuição bastante positiva para a qualidade final da análise após um período de assimilação de dados. O cálculo desse ganho é feito considerando o ponto pertencente à curva dos valores do CCA do experimento avaliado que apresente o mesmo valor da CCA do FG do experimento de referência. Esse resultado é ilustrado na figura 2b, onde se pode observar que o experimento com a assimilação do IWV gerou um ganho no CCA do FG de 34,8 horas. Em outras palavras pode-se dizer que a não inclusão do IWV, a correlação de anomalia do FG gerado nesse caso é similar as previsões de 40 horas geradas no experimento onde o IWV é assimilado. A tabela 2 apresenta os valores do ganho em horas no CCA da umidade no FG obtidos com a assimilação do IWV, com o aumento da resolução e com a ação conjunto de ambas melhorias para o Hemisfério Sul (HS), região tropical (TR) e América do

Sul (AS). De forma similar aos cálculos feitos para gerar os resultados apresentados na tabela 1, os valores apresentados nessa tabela também foram calculados algebricamente.

Tabela 2

5. Análise dos resultados

Os resultados apresentados na seção anterior são analisados em três etapas. A primeira visa avaliar o impacto da assimilação dos valores do IWV na previsibilidade da umidade e, para isso, se compara os resultados obtidos nos experimentos T126semIWV e T126comIWV. Na segunda, o enfoque é a avaliação do impacto da modificação da resolução do modelo na previsibilidade dos campos de umidade. Nessa etapa os resultados dos experimentos T126comIWV e T213comIWV são comparados. Na terceira e última etapa é avaliado o impacto da ação conjunta da assimilação do IWV e da melhoria da resolução do modelo na previsibilidade da umidade, e para isso os resultados gerados nos experimentos T126semIWV e T213comIWV são comparados.

5.1. Impacto da assimilação dos valores do IWV na previsibilidade dos campos de umidade

Comparando os resultados apresentados pelos experimentos com e sem a assimilação do IWV (Figuras 2, 3 e 4) observa-se que existem alguns padrões que podem ser claramente identificados. Com relação aos valores do IWV (Figura 2), os quais, por serem valores integrados verticalmente, revelam o impacto global no perfil de umidade, dois padrões se destacam:

- O impacto da assimilação do IWV é mais significativo para as primeiras horas de previsão e decai com o tempo de integração do modelo. Enquanto que para as previsões de 6 horas o CCA é até 25% maior, para previsões de 114 horas a diferença tende a zero. Uma consequência desse padrão é que o impacto da assimilação do IWV apresenta um ganho

maior na qualidade da previsão de 6 h, o que pode ser associado diretamente a um ganho na qualidade do FG, do que na expansão das previsões válidas (veja Tabela 1 e 2).

- O maior impacto ocorre na região tropical, seguida das regiões da América do Sul e Hemisfério Sul.

Com relação ao perfil de umidade relativa (Figuras 3 e 4) além dos padrões observados com relação aos valores do IWV, destaca também que:

- O impacto é positivo em todos os níveis de pressão avaliados, sendo que esse impacto tende a ser mais significativo na baixa troposfera (nos níveis de 925, 850 e 700hPa) onde a concentração de umidade é maior;
- No nível de 850 hPa o impacto é sutilmente maior do que os demais níveis avaliados.

O resultado que deixa mais evidente a importância da assimilação do IWV são a ampliação da extensão das previsões válidas (CCA maiores que 0.6) e o aumento da CCA dos campos da umidade no FG mostrados na Tabela 1 e 2, respectivamente. Para os valores do IWV essa ampliação chega até a 18 horas na região tropical e é de 12 horas para a América do Sul. Para o perfil de umidade relativa os valores da ampliação da extensão das previsões válidas que merecem ser destacados são: 26 horas no nível de 850 e 16 horas em 700hPa e 925hPa. Com relação às melhorias do FG, os ganhos nos valores do CCA foram de 35, 30 e 26 horas para o IWV na região tropical, América do Sul e Hemisfério Sul, respectivamente. Com relação ao perfil de umidade relativa destaca-se o ganho obtido em 850hPa o qual foi de 40 horas na região tropical e de 21 horas na América do Sul e Hemisfério Sul. Observa-se que os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2, e aqui destacados, obedecem todos os padrões listados acima.

5.2. Impacto da modificação na resolução do modelo na previsibilidade dos campos de umidade

O impacto da melhoria da resolução do modelo na previsibilidade da umidade apresenta os seguintes padrões:

- Tende a ser maior quanto maior o tempo de integração do modelo. Enquanto que para as previsões de 6 horas o ganho no CCA é praticamente nulo, para previsões de 14 o ganho no CCA pode chegar a 8%. Uma consequência desse padrão é que, ao contrário do impacto da assimilação do IWV, o impacto da melhoria da resolução gera uma maior ampliação da extensão das previsões válidas do que a melhoria no campo de umidade do FG, o qual nesse caso é praticamente nula (veja tabela 1 e 2).
- Com relação às três regiões avaliadas, observa-se que o impacto da melhoria da resolução não apresenta diferenças significativas, apresentando valores muito similares para as três regiões.

Com relação ao perfil de umidade relativa (Figuras 3 e 4) os padrões observados são:

- Com exceção do nível de 850 hPa na região tropical, o impacto é positivo na baixa troposfera, e é sutilmente negativo nos níveis de 300 e 250 hPa. Na América do Sul, nesses níveis mais elevados, observa-se que após 90 horas de integração há um impacto positivo, porém os valores nessas circunstâncias são menores do que 0.6;
- No nível de 700 hPa o impacto é positivamente maior do que os demais níveis avaliados.

Com relação aos valores apresentados nas Tabelas 1 e 2, observa-se que enquanto o ganho no CCA do FG é praticamente nulo, (valores menores do que 2 horas), na ampliação da extensão das previsões válidas há alguns resultados que merecem destaques. Esse é o caso da expansão das previsões do IWV em 6 horas em média para as diferentes regiões avaliadas. Com relação ao perfil da umidade relativa destaca-se a ampliação da extensão das previsões válidas em 700 hPa no Hemisfério Sul (21 horas), região tropical (15 horas) e em 925 hPa na América do Sul (10 horas).

5.3. Impacto da ação conjunta da assimilação do IWV e da melhoria da resolução do modelo na previsibilidade dos campos de umidade

Como essa análise é uma combinação das duas anteriores, os padrões nelas observados estão aqui presentes, sendo que o impacto da assimilação do IWV predomina nas primeiras horas de previsão, enquanto que nas previsões de médio para longo prazo predomina o impacto da melhoria na resolução do modelo. Os padrões que podem ser identificados no IWV (Figura 2) são:

- O impacto é significativo ao longo de todas as previsões avaliadas, sendo maior nas primeiras horas de integração do modelo, mas nunca tendendo a zero, como nas análises anteriores. Em consequência disso, o impacto tanto na ampliação da extensão das previsões válidas quanto no ganho no CCA do FG é significativo (veja Tabelas 1 e 2).
- Com o predomínio da assimilação do IWV sobre a melhoria da resolução, observa-se que os resultados são mais significativos na região tropical e menos ao considerar todo o Hemisfério Sul.

Com relação ao perfil de umidade relativa na região tropical (Figura 3) observa-se que:

- O impacto é positivo em todos os níveis avaliados, sendo mais significativo na baixa troposfera. Nos níveis de 850, 300 e 250 hPa, onde foi observado um sutil impacto negativo da melhoria da resolução do modelo, o impacto positivo da assimilação do IWV foi maior, de tal forma que o saldo final foi positivo;
- Em 700 hPa observa-se que o impacto foi mais significativo.

Na América do Sul (figura 4) observa-se que:

- O impacto é positivo nas primeiras horas de previsão para todos os níveis avaliados, mas para os níveis 300 e 250 hPa há intervalos de integração do modelo (entre 30-84 horas de integração e de 42-90 horas, respectivamente) onde ele se torna negativo.
- O resultado positivo é mais expressivo em 925 hPa.

Em uma análise dos valores apresentados nas Tabelas 1 e 2, é possível observar que tanto na ampliação da extensão previsões válidas como no ganho do CCA do FG o benefício da ação conjunta da assimilação do IWV e da melhoria da resolução é maior do que os mesmos

isolados. Nas previsões do IWV as ampliações chegam a 12 horas no Hemisfério Sul, 18 horas na América do Sul e de 25 horas (maior que um dia) para a região tropical. Para os valores da umidade relativa, destacam-se o nível de 700 hPa no Hemisfério Sul e na região tropical, onde as ampliações da extensão das previsões validas foram de 26 e 31 horas, respectivamente. Já na América do Sul a maior ampliação (21 horas) foi observada em 925 hPa.. Com relação ao ganho do CCA do FG do IWV valores de 28, 32 e 38 horas foram obtidos para o Hemisfério Sul, América do Sul e região tropical, respectivamente. Para os valores da umidade relativa os valores foram relativamente altos para todos os níveis avaliados. O maior valor foi observado em 700 hPa na região tropical (33 horas de ganho) e o menor é observado no nível de 300 hPa na América do Sul (7 horas de ganho).

De forma geral, observa-se que a combinação das duas práticas gera um impacto positivo bastante significativo ao considerar as previsões do IWV, bem como da umidade relativa para os níveis onde é a umidade específica é alta (925, 850 e 700 hPa). Na Figura 5 essas variáveis são utilizadas para mostrar em termos de ganho percentual o impacto da combinação das duas práticas para as três diferentes regiões avaliadas. Essa figura evidencia que o ganho é bastante significativo para todo o período de integração avaliado, e em especial para as primeiras horas de previsão. Fica claro também que dentre as três regiões estudadas, a TR é a que apresenta maior impacto positivo nas primeiras 60 horas de previsão, sendo que após este período as previsões nesta região, especialmente em baixos níveis, iguala-se ou mostra um impacto ligeiramente inferior às demais regiões. Deve-se ressaltar que em todas as regiões de estudo houve um impacto positivo, sendo maior nas primeiras horas de integração do modelo, com exceção do nível de 700 hPa onde verificou-se um impacto superior nos últimos horários de integração.

Figura 5.

6. Conclusões

Foram realizados três experimentos visando avaliar o impacto da assimilação de valores do IWV e do aumento da resolução do MCGA na previsibilidade dos campos de umidade

gerados pelo CPTEC/INPE. No primeiro experimento foi utilizada a resolução T126L28 do MCGA sem a assimilação do IWV, no segundo a mesma resolução com a assimilação do IWV e no terceiro foi utilizada a resolução T213L42 do MCGA com a assimilação do IWV. A configuração dos experimentos permitiu avaliar tanto o impacto isolado quanto o impacto conjunto dessas duas implementações.

O impacto da assimilação do IWV é bastante significativo nas primeiras horas de previsão decaindo com o tempo de integração do modelo e por consequência sendo maior no ganho da CCA do FG do que na ampliação da extensão das previsões válidas. Embora o impacto seja sensível em todas as regiões avaliadas, na região tropical ele é mais significativo. Nessa região a ampliação da extensão das previsões válidas do IWV chegou a 18 horas e o ganho em horas do CCA do FG foi de 35 horas.

O impacto da melhoria da resolução do modelo é maior quanto maior o tempo de integração do modelo. Nesse caso, enquanto que o ganho no CCA do FG é praticamente nulo, a ampliação da extensão das previsões válidas foi de em média 6 horas para o IWV e chegou a 21 horas na umidade relativa em 700 hPa ao considerar todo o Hemisfério Sul.

No experimento onde as duas práticas foram adotadas os impactos isolado das mesmas são combinados e o resultado é significativo ao longo de todas as previsões avaliadas. Esse impacto foi de maior intensidade nas primeiras horas de integração do modelo, onde a assimilação do IWV é predominante. Por consequência, observa-se que o impacto substancial tanto na ampliação da extensão das previsões válidas quanto no ganho no CCA do FG é significativo nos valores do IWV e nos níveis da umidade relativa onde se concentra a umidade (925, 850 e 700 hPa). Embora esse impacto seja observado nas três regiões avaliadas, na região tropical ele é mais expressivo. Nessa região a expansão das previsões válidas do IWV foi de 25 horas e o ganho no CCA do FG foi de 38 horas.

Referências Bibliográficas

Cohn, S. E.; Da Silva, A.; Guo, J.; Sienkiewicz, M.; Lamich, D. Assessing the effects of the data selection with the DAO physical-space statistical analysis system. *Mon. Wea. Rev.*,

v.126, p. 2913-2926, 1998.

Da Silva, A. M.; Pfaendtner, J.; Guo, J.; Sienkiewicz, M.; Cohn, S. Assessing the effects of data selection with dao's physical-space statistical analysis system. In: International WMO Symposium on Assimilation of Observation in Meteorology and Oceanography., 02., 13-17 Mar. 1995, Tokyo. **Proceedings...** Tokyo: WMO, 1995. WMO/TD.651.

Kalnay, E., 2003. *Atmospheric Modeling, Data Assimilation, and Predictability*. Cambridge University Press, *Cambridge*. 364 p.

Krishnamurti, T. N.; Rajendran, K.; Kumar, T. S. V.; Lord, S.; Toth, Z.; Zou, X.; Cocke, S.; Ahlquist, J. E.; Navon, I. M. Improved Skill for the Anomaly Correlation of Geopotential Heights at 500 hPa, *Mon. Weather Rev.*, v. 131, p. 1082-1102, 2003.

Wickert, J.; Reigber, Ch.; Beyerle, R.; Marquardt, C.; Schmidt, T.; Meeham, T.; Grunwaldt, L.; Galas, R. GPS Rádio Occultation with CHAMP: Initial results. In: Proc. Beacon Satellite Symposium, Boston, junho de 2001.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição espacial típica dos valores do IWV provenientes do sensor AIRS/AMSU para os diferentes horários em que o PSAS é acionado.

Figura 2 – Valores do Coeficiente da Correlação de Anomalia (CCA) do IWV obtidos nos diferentes experimentos realizados em função do tempo de previsão para o (a) Hemisfério Sul, (b) Região Tropical e (c) América do Sul.

Figura 3 – Valores do Coeficiente da Correlação de Anomalia (CCA) da umidade relativa obtidos nos diferentes experimentos realizados em função do tempo de previsão para a Região Tropical em (a) 925 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa, (d) 500 hPa, (e) 300 hPa e (f) 250hPa.

Figura 4 – O mesmo da Figura 3 para a América do Sul.

Figura 5 – Percentual de ganho nos valores do CCA gerados pela combinação da assimilação do IWV e da melhora da resolução para as previsões do (a) IWV, e da umidade relativa em (b) 925, (c) 850 e (d) 700 hPa.

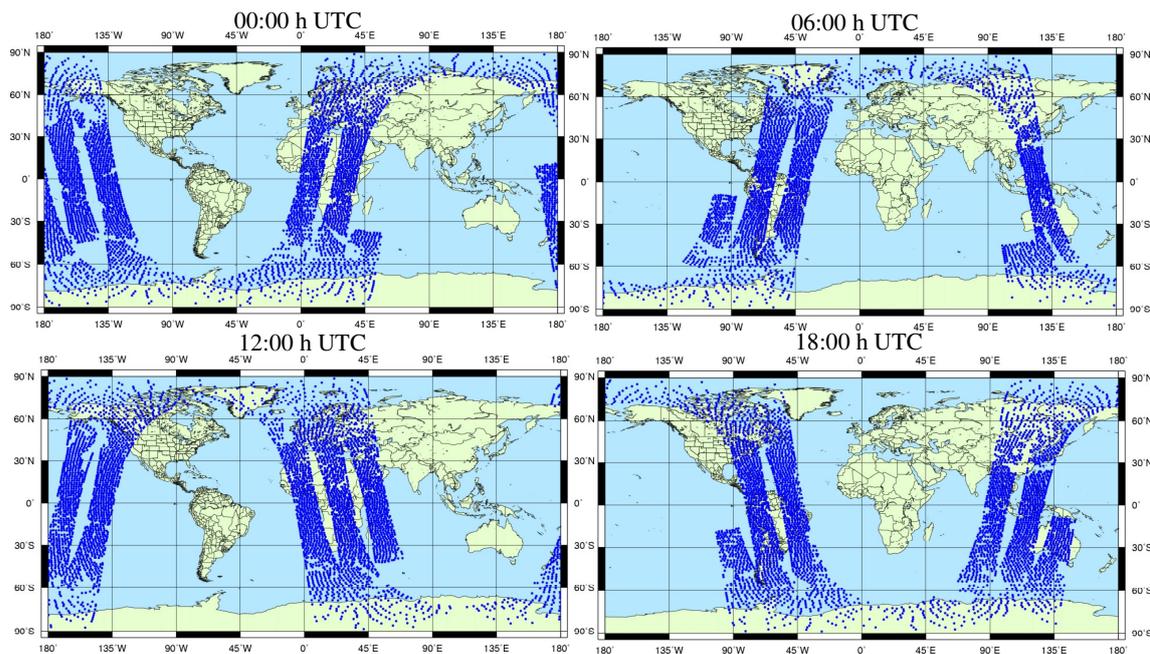


Figura 1 –Distribuição espacial típica dos valores do IWV provenientes do sensor AIRS/AMSU para os diferentes horários em que o PSAS é acionado.

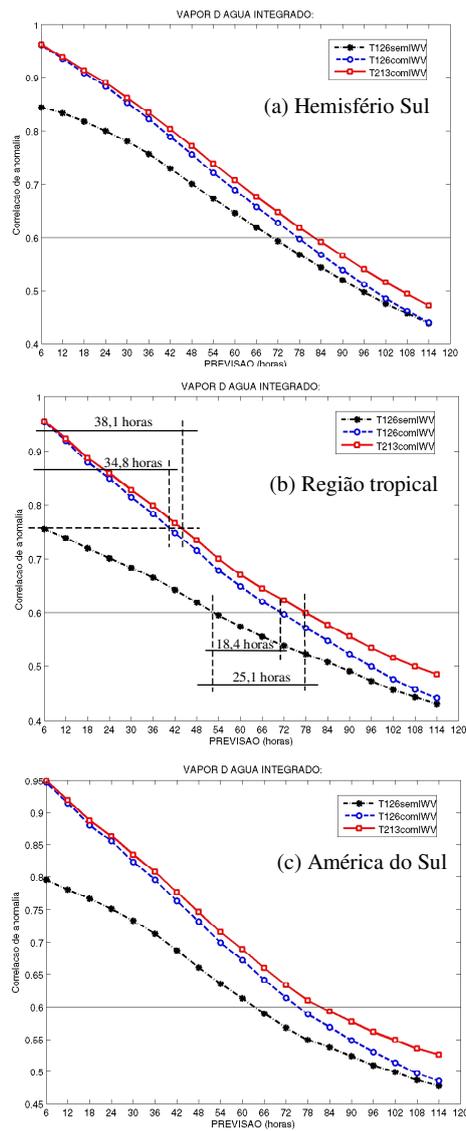


Figura 2 – Valores do Coeficiente da Correlação de Anomalia (CCA) do IWV obtidos nos diferentes experimentos realizados em função do tempo de previsão para o (a) Hemisfério Sul, (b) Região Tropical e (c) América do Sul.

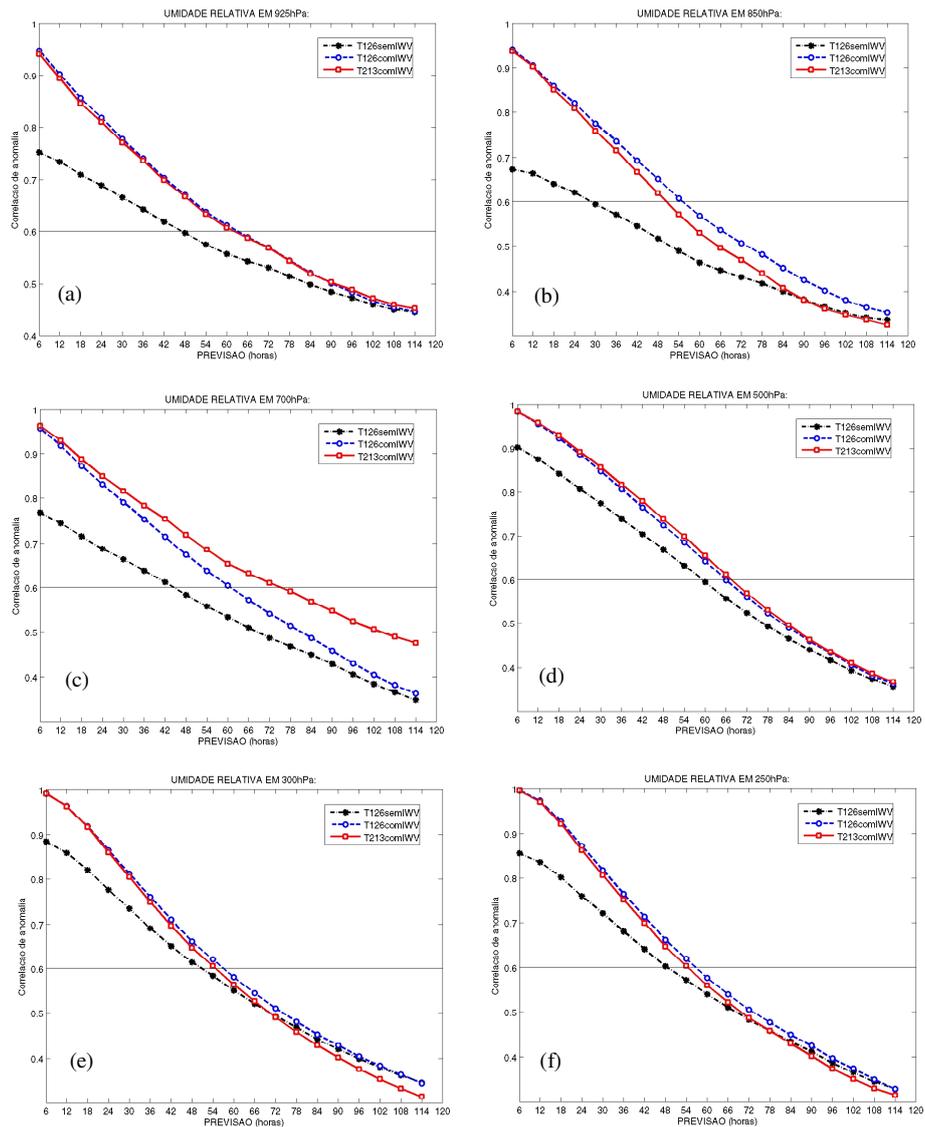


Figura 3 – Valores do Coeficiente da Correlação de Anomalia (CCA) da umidade relativa obtidos nos diferentes experimentos realizados em função do tempo de previsão para Região Tropical em (a) 925 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa, (d) 500 hPa, (e) 300 hPa e (f) 250hPa.

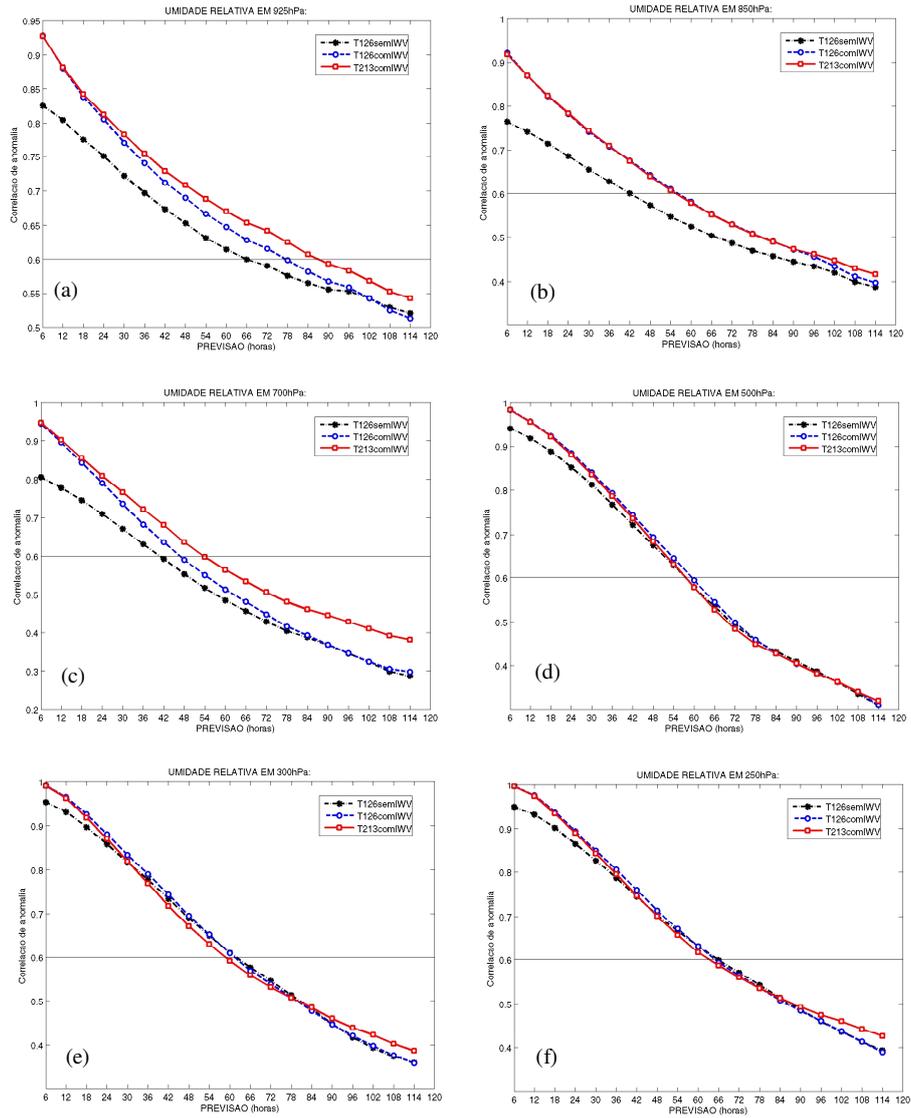


Figura 4 – O mesmo da figura 3 para a América do Sul.

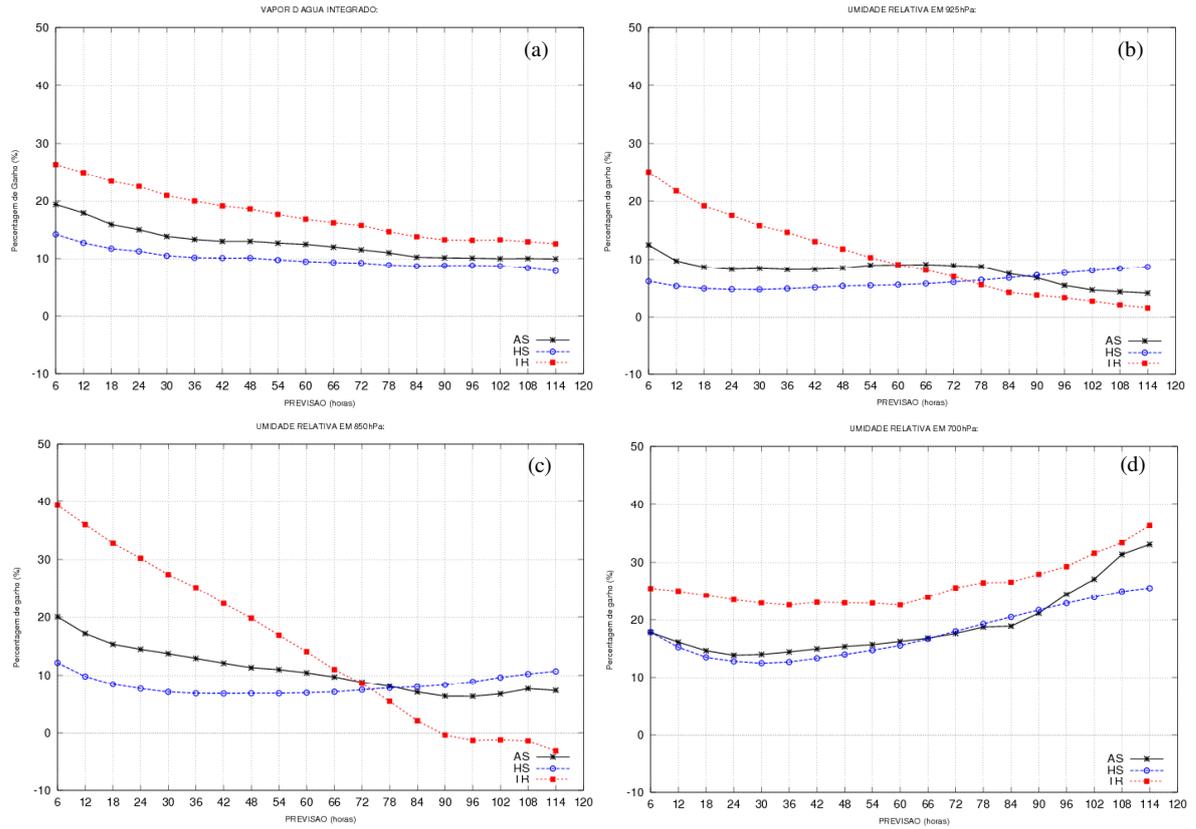


Figura 5 – Percentual de ganho nos valores do CCA gerados pela combinação da assimilação do IWV e da melhora da resolução para as previsões do (a) IWV, e da umidade relativa em (b) 925, (c) 850 e (d) 700 hPa..

Tabela 1. Expansão das previsões validas (com CCA acima de 0.6) da umidade obtida com a assimilação do IWV, com o aumento da resolução e com a ação conjunto de ambas as melhorias para o Hemisfério Sul (HS), Região Tropical (TR) e América do Sul (AS) (valores em horas).

Variável	Considerando apenas a Assimilação do IWV			Considerando apenas a melhoria na resolução do modelo			Considerando a assimilação do IWV e a melhoria na resolução		
	HS	TR	AS	HS	TR	AS	HS	TR	AS
IWV	7.0	18.4	12.0	4.7	6.7	6.1	11.7	25.1	18.1
UR (925 hPa)	0.0	16.0	11.6	0.0	-1.0	9.7	0.0	15.0	21.3
UR (850 hPa)	2.6	26.4	14.0	8.3	-4.8	-0.6	10.9	21.6	13.4
UR (700 hPa)	4.5	16.3	5.8	21.3	14.6	6.9	25.7	30.9	12.8
UR (500 hPa)	0.5	6.7	1.9	4.6	1.6	-1.8	5.9	8.3	0.1
UR (300 hPa)	0.3	6.3	-0.5	4.9	-2.3	-2.7	5.3	3.9	-3.2
UR (250 hPa)	0.0	8.1	-0.8	2.5	-2.3	-1.7	2.5	5.9	-2.5

Tabela 2. Ganho em horas da CCA da umidade no First Guess obtido com a assimilação do IWV, com o aumento da resolução e com a ação conjunta de ambas as melhorias para o Hemisfério Sul (HS), Região Tropical (TR) e América do Sul (AS) (valores em horas).

Variável	Considerando apenas a Assimilação do IWV			Considerando apenas a melhoria na resolução do modelo			Considerando a assimilação do IWV e a melhoria na resolução		
	HS	TR	AS	HS	TR	AS	HS	TR	AS
IWV	25.8	34.8	30.0	0.3	0.3	0.6	27.8	38.1	32.3
UR (925 hPa)	15.1	28.1	14.4	1.7	0.0	0.0	21.5	27.3	15.5
UR (850 hPa)	21.2	38.9	20.6	0.5	0.0	0.0	25.5	35.2	20.8
UR (700 hPa)	20.3	27.6	16.3	1.2	1.0	0.3	26.6	33.2	18.4
UR (500 hPa)	11.1	15.4	8.9	0.6	0.1	0.0	12.3	16.3	8.6
UR (300 hPa)	9.6	15.8	7.7	0.0	0.0	0.0	9.1	15.4	7.1
UR (250 hPa)	11.6	19.8	10.2	0.0	0.0	0.0	11.1	18.7	9.7