

AVALIAÇÃO DO FILTRO DIGITAL IMPLEMENTADO NO MBAR

Fabrcio Pereira Härter¹, Reinaldo Bonfim Silveira², Gilberto Ricardo Bonatti¹, Ricardo Raposo dos Santos¹, Juliana Duarte Mol, Thiago Tavares Bragal¹

¹Inst. Nacional de Meteorologia, Brasília - DF, Bra. fabrcio.harter, gilberto.bonatti, ricardo.raposo, juliana.mol, thiago.braga@inmet.gov.br. ²Serviço Meteorológico do Paraná Curitiba – PR Bra. rsilveira@simepar.br

RESUMO: A técnica de Inicialização por Filtro Digital (IFD) é testada no Modelo Brasileiro de Alta Resolução (MBAR). O objetivo é reduzir oscilações de alta frequência causadas pelo desequilíbrio entre os campos de massa e velocidade na condição inicial do modelo. O filtro é calibrado para a América do Sul e sua capacidade de amortecer altas frequências é analisada. A IFD apresenta resultados equivalentes a IMN (Inicialização por Modos Normais), com a vantagem de ser compatível com o método de assimilação implementado no Modelo Brasileiro de Alta Resolução (MBAR), operacional no Instituto nacional de Meteorologia (INMET).

ABSTRACT: An optimal Digital Filter Initialization (DFI) technique is used in the HRM in order to suppress spurious high frequency oscillations caused by an imbalance between initial mass and wind fields. The filter is calibrated for a large Brazilian domain, such as South America and the efficiency of the filter in remove high frequency oscillations are analyzed. The DFI is compared to the nonlinear normal-mode initialization (NMI). Both methods yield to satisfactory results in suppressing noise in the forecast, but the DFI can be running concurrently with the data assimilation technique used at Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Palavras-Chave: Inicialização, Filtro Digital, Modelo Brasileiro de Alta resolução.

1. INTRODUÇÃO

Modelos numéricos de equações primitivas são importantes ferramentas na previsão do tempo, tanto para fins operacionais como para pesquisa. Estes modelos apresentam ondas de diferentes frequências em sua solução, como as ondas de Rossby, de gravidade e acústicas.

Durante a integração do modelo as ondas de gravidade de alta frequência podem amplificar-se pelo domínio, mascarando os movimentos meteorológicos importantes, como as ondas de Rossby. Tais oscilações, de alta frequência, surgem devido ao desequilíbrio existente entre os campos de massa e velocidade nos dados iniciais. Este desequilíbrio tem várias causas, tais como: erros nos dados observados, imperfeição do método numérico que aproxima as equações diferenciais por equações de diferenças finitas, resolução da grade, dificuldade em representar os termos não-lineares das equações do modelo e ainda, o erro de truncamento em modelos espectrais.

O propósito deste trabalho é calibrar o Filtro Digital (FD) desenvolvido pelo Instituto Alemão de Meteorologia, da sigla em alemão DWD, e implementado no Modelo Brasileiro de Alta resolução (MBAR). Iniciar significa acelerar o processo de equilíbrio entre os campos de massa e velocidade nos dados iniciais, reduzindo o ruído gerado por ondas de gravidade de alta frequência.

2. METODOLOGIA

Em sua forma geral, o filtro é uma convolução entre duas funções. Supondo uma seqüência $\{f_n\}$ de uma variável discreta no tempo, um Filtro Digital não-recursivo é dado por:

$$f_n^* = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h_k f_{(n-k)} \quad (2.1)$$

onde os coeficientes h_k são constantes do filtro, f_{n-k} são dados de entrada e f_n^* são os dados de saída.

Na prática, a convolução é calculada com um número finito de dados:

$$f_n^* = \sum_{k=-N}^{k=+N} h_k f_{(n-k)} \quad (2.2)$$

Trabalhar com um número finito de dados significa truncar a seqüência $\{f_n^*\}$. O efeito deste truncamento é a introdução de oscilações da ordem de θ_c , conhecidas como oscilações de Gibbs. Para resolver este problema multiplica-se f_n^* por funções que suavizam as oscilações de Gibbs, as quais são chamadas de funções janelas (Hamming, 1989). Na literatura existem diferentes funções janelas. O código implementado no MBAR é baseado no desenvolvimento apresentado em Lynch (1997), onde o filtro é um convolução direta entre as variáveis do modelo e a janela de Dolphy-Chebyshev.

A integração do modelo para gerar a série h_n a ser filtrada, pode ser feita apenas para frente diabaticamente, ou para frente diabaticamente e para trás adiabaticamente (processos termodinâmicos irreversíveis desligados). A primeira forma, tem menor custo computacional, porém há uma perda nas primeiras horas de integração, o que não é desejável, principalmente em modelos de escala regional. Por essa razão utiliza-se o FD implementado no MBAR, com a integração para frente e para trás, como ilustrado a seguir.

- *Integração para trás* (f são as variáveis filtradas: vento, temperatura e pressão e h são os coeficientes do filtro):

$$f_{-180} = f_0 h_0 + f_{-180} h_{-60} + f_{-60} h_{-120} + f_{-120} h_{-380} + f_{-360} h_{-240} + f_{-240} h_{-320} + f_{-320} h_{-360}$$

Obs: A cada 3 passos de tempo os coeficientes se repetem, de forma que:

$h_0 = h_{-180} = h_{-360}$, $h_{-60} = h_{-240}$, $h_{-120} = h_{-320}$, o que implica em economia de tempo de máquina

- *Integração para frente*

$$f_0^* = f_{-180} h_{-180} + f_0 h_{-120} + f_{-120} h_{-60} + f_{-60} h_0 + f_{180} h_{60} + f_{60} h_{120} + f_{120} h_{180}$$

Que pode ser ilustrado conforme a Figura 1.

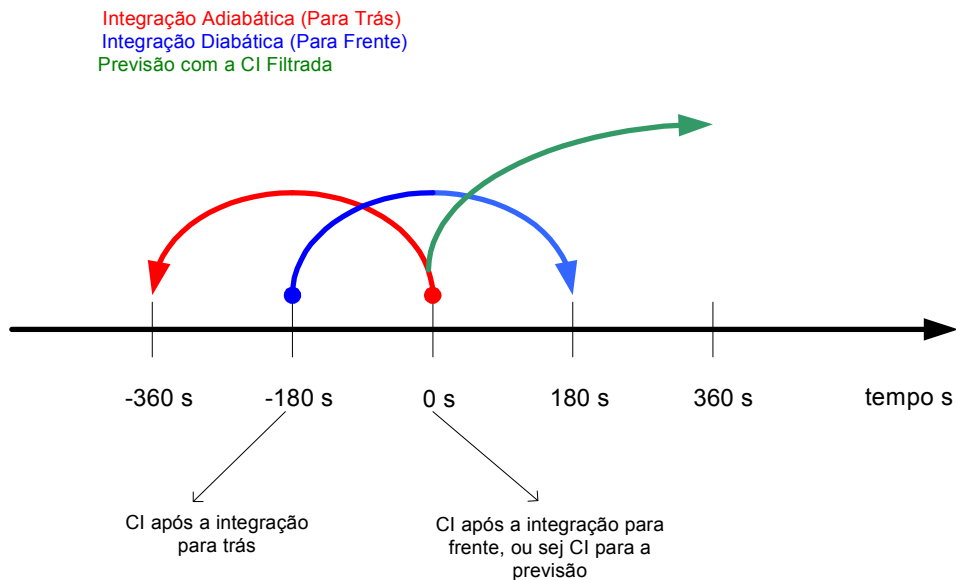


Figura 1 – Ilustração do Filtro Digital para uma para janela de assimilação de 360s.

3. RESULTADOS

Segundo Lynch e Huang (1992), um sistema de inicialização eficiente tem 3 características essenciais: (1) remove oscilações de alta frequência da previsão; (2) não degrada a previsão; e (3) as mudanças provocadas pela técnica de inicialização nos campos iniciais são pequenas. Assim, os experimentos grafados a seguir são apresentados no sentido de verificar estas características na implementação do FD no MBAR.

Uma maneira de se avaliar a precisão de esquemas de inicialização, é grafar a evolução temporal da pressão à superfície, pois esta variável é sensível ao ruído contido na coluna vertical sobre o ponto no qual se faz a evolução temporal (Huang e Lynch, 1993). Por essa razão, com o intuito de verificar a condição (1) fez-se integrações com o modelo não inicializado (NI), Inicialização por Modos Normais (IMN) e Inicialização por Filtro Digital (IFD) diabática (apenas para frente) e IFD diabática e adiabática (para frente e para traz, a partir da CI). Este experimento, não grafado neste texto, mostra que ao se levar em conta os processos termodinâmicos diabáticos e adiabáticos durante a integração do filtro, obtém-se melhores resultados do que o NI, do que a IMN e do que a IFD apenas para frente.

Uma vez decidido como o filtro deve ser aplicado, deve-se escolher a frequência de corte e o período de corte que removam as oscilações de alta frequência de maneira mais eficiente, ou seja, deve-se buscar a melhor relação possível entre os números de onda que serão eliminados e o custo computacional. Para tal, apresentam-se na Figura 2, experimentos com IFD para os seguintes períodos e frequências de corte: 360, 720, 1800, 3600 e 7200 s. À medida que se reduz a frequência de corte (ou aumenta-se o período de corte) ondas de maior comprimento são eliminadas da solução do modelo.

Observa-se na Figura 2 que à medida que se aumenta o período de corte, mais oscilações espúrias são eliminadas do ponto onde se apresenta a evolução temporal de pressão à superfície, no caso Santiago-Chile, fonte de geração de ondas de gravidade de alta frequência. Todavia, para período de corte acima de 3600 s, o filtro não tem efeito, causando apenas aumento de custo computacional.

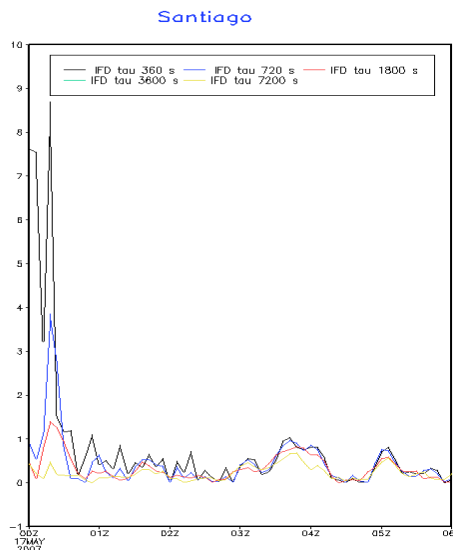


Figure 2: Inicialização por Filtro Digital com diferentes frequências de corte.

Os resultados mostram que o FD incluindo os processos diabáticos e adiabáticos, com período e frequência de corte de 3600 s são as melhores configurações para o filtro. Por conseguinte, os testes para se verificar as condições (2) e (3) necessárias para um bom esquema de inicialização serão feitos com esta configuração.

3.1 IMPACTO DO FD NA ANÁLISE

Com o objetivo de avaliar o se o filtro causou mudanças na análise, mostra-se na Figura 3 a CI com o modelo NI, IMN e IFD. As figuras referem-se a campos de pressão à superfície para as 00 UTC do dia 17 de maio de 2007, quando houve um caso de enchente em Curitiba. Observa-se uma frente fria com o centro de baixa pressão no oceano (40°W, 45°S) que passou pelo Paraná e avançou em direção a região Sudeste. Uma

análise mais profunda sobre a situação sinótica, bem como o impacto do filtro neste estudo de caso esta sendo reportado num artigo que será submetido à revista especializada.

Campos de diferenças entre a análise gerada pelo Filtro Digital e análise NI e diferenças entre análise gerada por Modos Normais e NI, não grafados neste texto, evidenciam que as mudanças nas CI são realmente pequenas e acentuam-se sobre os Andes, como é de se esperar.

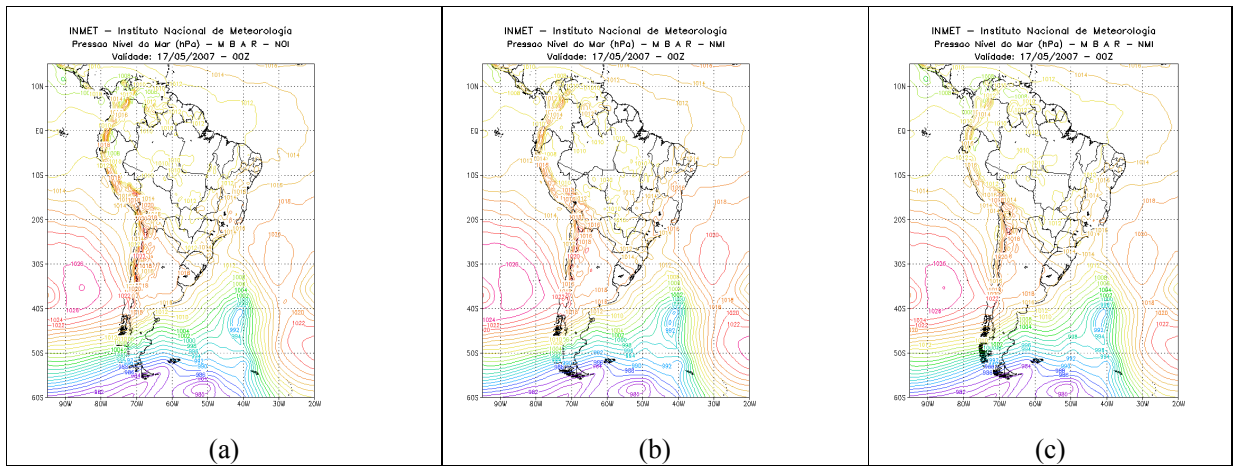


Figura 3: Análise para (a) NI, (b) IMN and (c) IFD.

3.2 IMPACTO DO FD NA PREVISÃO

Próprio das pequenas mudanças que o processo de inicialização deve provocar na análise, espera-se que o impacto da inicialização também seja pequeno na previsão, pois a inicialização deve evitar que ondas espúrias se propaguem pelo domínio e mascarem os movimentos atmosféricos mais importantes para a previsão do tempo.

Na Figura 4 apresenta-se o campo de pressão à superfície, integrados à partir da análise NI, IFD e IMN, às 00 UTC do dia 18 de maio de 2007 (24 horas de previsão).

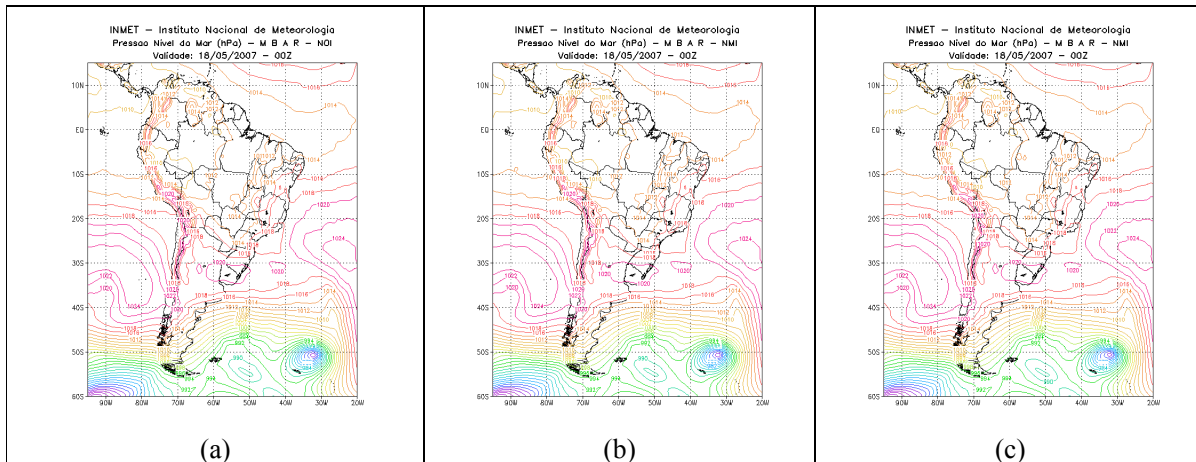


Figure 4: 24 horas de previsão para (a) NI, (b) IMN e (c) IFD.

Aproximadamente após 6 horas de previsão, o próprio método numérico aplicado na integração das equações de Navier Stokes devem amortecer o ruído gerado pelas ondas de gravidade de alta frequência, tal que a previsão à partir da análise NI, IFD e IMN devem ser semelhantes. Isto se verifica na Figura 4, mostrando que a IFD satisfaz a 3 condições atribuídas por Lynch e Huang (1992) à um eficiente esquema de inicialização de modelos numéricos.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, avaliou-se a melhor forma de aplicar a Inicialização por Filtro Digital (IFD), quanto à relação custo computacional e precisão, no Modelo Brasileiro de Alta Resolução (MBAR), integrado de maneira operacional no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Avaliou-se também, a melhor frequência de corte aplicada no filtro de forma a amortecer as ondas de alta frequência sem amortecer ou até mesmo suprimir ondas importantes para os fenômenos de tempo.

Pequeno ruído na condição inicial pode se propagar e amplificar pelo domínio de integração do modelo, mascarando os movimentos meteorológicos importantes, tais como ondas de Rossby e de gravidade de alta frequência, por isso a inicialização é importante linha de pesquisa em modelagem numérica. Os resultados mostraram que a IFD atende as 3 condições necessárias a um bom sistema de inicialização, ou seja, elimina o ruído da condição inicial, não causa mudanças evidentes na análise e nem na previsão.

Resultado semelhantes são obtidos pela Inicialização por Modos Normais (IMN). Contudo o código desta técnica não é compatível com o método de assimilação utilizado no INMET, portanto, aplicar a IFD disponibilizado pela Instituto de Meteorologia Alemão (DWD), é uma solução mais prática do que tentar alterar os códigos da IMN e do método de assimilação.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo financiamento deste trabalho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HAMMING, R.W. Digital Filters. Englewood: Prentice-Hall International, 1989. 257 p.

HUANG, X.; LYNCH, P. Diabatic Digital-Filtering Initialization: Application to the HIRLAM MODEL. Monthly Weather Review, 121, n. 2, 589-603, 1993.

LYNCH, P.; HUANG, X. Initialization of HIRLAM Model Using a Digital Filter. Monthly Weather Review, 120, 1019-1034, 1992.

LYNCH, P. The Dolph-Chebyshev Window: A Simple Optimal Filter, 665-660, 1997.