

PARAMETRIZAÇÕES FÍSICAS: CONVECÇÃO

Jhonatan A. A. Manco

Silvio Nilo Figueroa

PROJETO MONAN

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

02 DE OUTUBRO DE 2023





INTRODUÇÃO

CONVECÇÃO

Movimento vertical de uma determinada massa de ar.

- Diferenças de Temperatura → Flutuabilidade
- Dinâmica da atmosfera → Sistemas Sinóticos (Frentes Frias).

Formação Nuvens

- Condensação (Formação de água líquida), Liberação de Calor (Nuvens)
- Microfísica (Transformações de fase dentro da nuvem).
- Chuva-Granizo....



INTRODUÇÃO

PARAMETRIZAÇÃO DA CONVECÇÃO

- Escala da convecção [$< 15\text{km}$] $> \Delta_x \rightarrow$ Modelos CG não resolvem convecção.
- Reproduzir a contribuição na larga escala das fontes de calor e umidade aparentes (Nuvens).
- Papel fundamental na determinação da estrutura Vertical de Umidade e Temperatura da atmosfera. Permite representar fenômenos como a Célula de Hadley, OMJ....

NOVOS MODELOS(MPAS-FV3-MONAN)

- Modelo Não Hidrostático [w pronóstico]
- Malha Variável[1km a 20km]
- Escala Cinza[1.5-4.5km]



CONVECÇÃO NO MONAN

PARAMETRIZAÇÕES DE CONVECÇÃO

Esquemas do Tipo Fluxo de Massa

- Tiedtke → ECMWF, ECHAM, COSMO, WRF, MPAS
- Grell-Freitas (GF) → MPAS, GEOS-5, RAP, BRAMS



ESQUEMAS DO TIPO FLUXO DE MASSA (FM)

Equações de Larga Escala: Energia Estática (s) e Umidade Específica (q).

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \bar{s} + \bar{w} \frac{\partial \bar{s}}{\partial z} = \underbrace{-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} \overline{w' s'})}_{\text{Fluxo Turb. Vertical}} + \underbrace{L(\bar{c} - \bar{e})}_{\text{Cond-Evap}} + \bar{Q}_R$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \bar{q} + \bar{w} \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} = \underbrace{-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} \overline{w' q'})}_{\text{Fluxo Turb. Vertical}} - \underbrace{(\bar{c} - \bar{e})}_{\text{Cond-Evap}}$$

- A convecção pode ser separado do fluxo turbulento vertical (Múltiplas escalas: CLP e Convecção)
- Ignorando os sistemas de mesoescala (Advecção u', v').



BALANÇO DO FM PARA UMA NUVEM

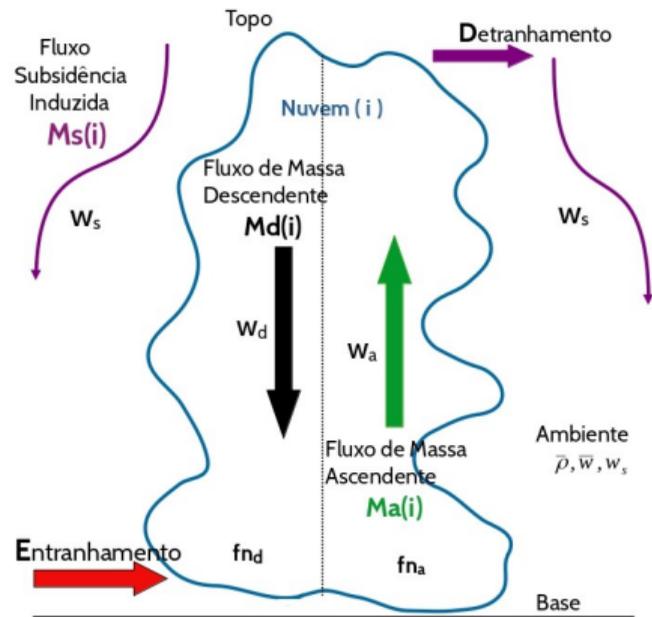
Balanço quase Estacionário

$$\begin{aligned}(\bar{\rho} \overline{w' \chi'})_{conv(i)} = \\ Ma(i)(\chi_a - \bar{\chi}) + \\ Md(i)(\chi_d - \bar{\chi}) + \\ Ms(i)(\chi - \bar{\chi})\end{aligned}$$

$$Ma(i) = \bar{\rho} f n_a(i) (w_a(i) - \bar{w})$$

$$Md(i) = \bar{\rho} f n_d(i) (w_d(i) - \bar{w})$$

$$Ms(i) = \bar{\rho} (1 - (f n_a + f n_d))(i) (w_s(i) - \bar{w})$$

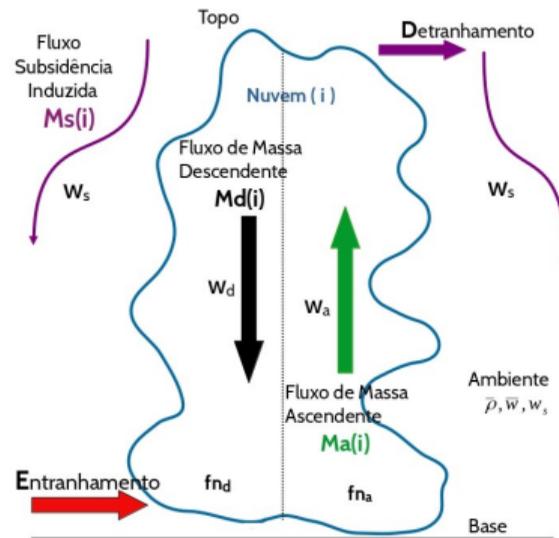




ESQUEMAS DO TIPO FM

Método Espectral, ARAKAWA

$$\begin{aligned}(\bar{\rho} \overline{w' \chi'})_{conv} = & \bar{\rho} \sum_i f n_{ai} (w_{ai} - \bar{w}) (\chi_{ai} - \bar{\chi}) + \\ & \bar{\rho} \sum_i f n_{di} (w_{di} - \bar{w}) (\chi_{di} - \bar{\chi}) + \\ & \bar{\rho} \left[1 - \sum_i (f n_{ai} + f n_{di}) \right] (w_s - \bar{w}) (\chi_s - \bar{\chi})\end{aligned}$$





ESQUEMAS DO TIPO FM

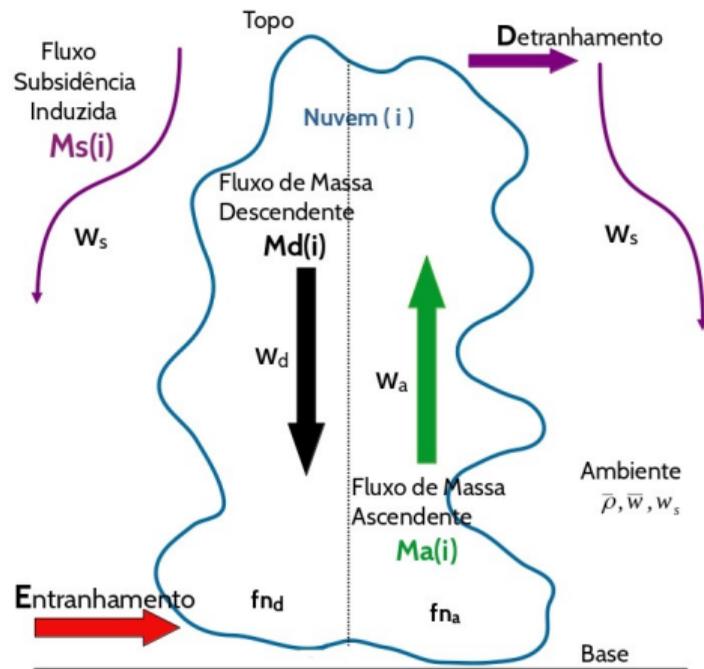
Método do Conjunto TIEDTKE-GF

TIEDTKE

$$(\overline{\rho w' \chi'})_{conv} = M_a(\chi_{ai} - \bar{\chi}) + M_d(\chi_{di} - \bar{\chi}) + \underbrace{M_s(\chi_s - \bar{\chi})}_{\chi_s \approx \bar{\chi}}$$

GF

$$(\overline{\rho w' \chi'})_{conv} = M_a(\chi_{ai} - \bar{\chi})$$





ESQUEMAS DO TIPO FM

Equações de Larga Escala Modificadas

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \bar{s} + \bar{w} \frac{\partial \bar{s}}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (M_u s_u + M_d s_d - (M_u + M_d) \bar{s}) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} \overline{w' s'})_{Tur} + L(c_a - e_d - e_l - e_p) + \bar{Q}_R \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \bar{q} + \bar{w} \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (M_u q_u + M_d q_d - (M_u + M_d) \bar{q}) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} \overline{w' q'})_{Tur} - (c_a - e_d - e_l - e_p) \quad (2)$$



EQUAÇÕES DO FLUXO DE MASSA

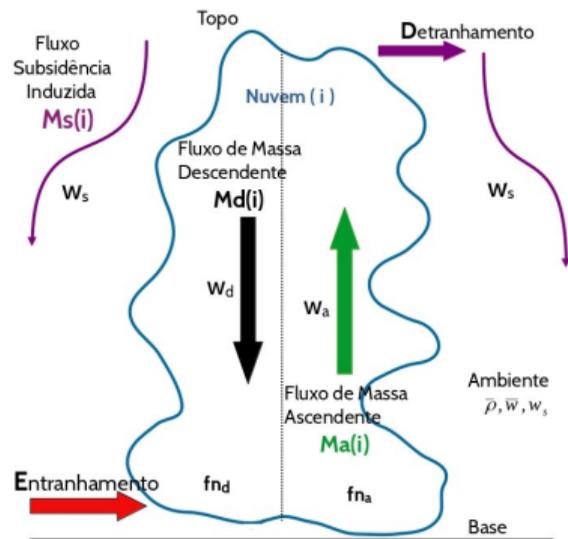
Corrente Ascendente

$$\frac{\partial M_a}{\partial z} = E_u - D_u$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(M_a s_a) = E_a \bar{s} - D_a s_a + L \bar{\rho} c_a$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(M_a q_a) = E_a \bar{q} - D_a q_a - \bar{\rho} c_a$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(M_a l) = -D_a l - \bar{\rho} c_a - \mathbf{G}_p$$





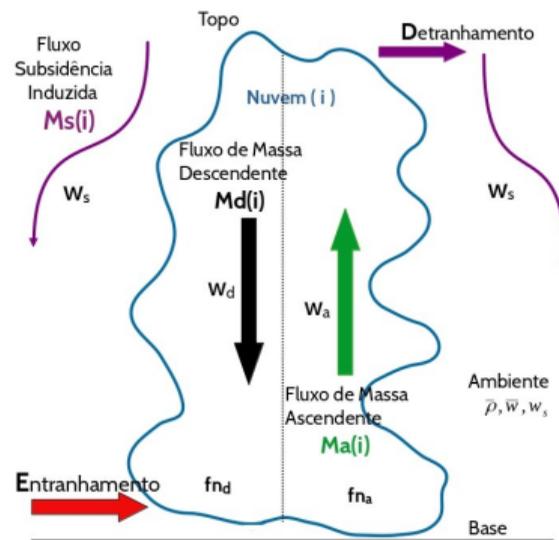
EQUAÇÕES DO FLUXO DE MASSA

Corrente Descendente

$$\frac{\partial M_d}{\partial z} = E_d - D_d$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(M_d s_d) = E_d \bar{s} - D_d s_d + L \bar{\rho} e_d$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(M_d q_d) = E_d \bar{q} - D_d q_d - \bar{\rho} e_d$$





EQUAÇÕES DO FLUXO DE MASSA

COMO INTEGRAR ESTAS EQUAÇÕES? → **Fechamentos**

- Fluxo de Massa na Base?.
- Taxas de Detranhamento e Entranhamento?.
- Tipo de Nuvem: Rasa (Não precipitam), Congestus (Dinâmica), Profunda (Pura Convecção).
- Outros processos Importantes (Formação de Hidrometeoros, Aerossóis, CLP).

DE ONDE?

Campanhas Experimentais (BOMEX (Caribe), GOAMAZON (Amazonas), TWP-ICE(Austrália)) e Modelos LES (Resolvem Explicitamente)



1) ESQUEMA DE FM: TIEDTKE

FECHAMENTOS

Fluxo de Massa na Base

$$M_b = \frac{\partial CAPE}{\partial t} \left[\int_{base}^{topo} \frac{[1 + \delta \bar{q}]}{c_p T_v} \frac{\partial \bar{s}}{\partial z} + \delta \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \eta \frac{g}{\bar{\rho}} dz \right]^{-1}$$

Entranhamento ($E_a = \epsilon_a M_a$) e Detranhamento ($D_a = \delta_a M_a$)

$$\epsilon_a = \delta_a = \left\{ \begin{array}{ll} 1 \times 10^{-4} & m^{-1}, \\ 3 \times 10^{-4} & m^{-1}, \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Congestus e Profunda} \\ \text{Rasa} \end{array} \right\}$$



1) ESQUEMA DE FM: TIEDTKE

FECHAMENTOS

Taxa de conversão de água da nuvem em chuva (Chuva Convectiva)

$$G_p = K(z)l$$

$$K(z) = \begin{cases} 0, & \text{if } z \leq Z_B + 1500 \\ 2 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}, & \text{if } z > Z_B + 1500 \end{cases}$$



1) ESQUEMA DE FM: TIEDTKE

IMPORTÂNCIA COM A ESCALA (SCALE AWARE) [WEI 2022]

- $\Delta_x < 10km$
- Dinâmica do Modelo resolve parte dos movimentos convectivos, e o fluxo de massa requerido para estabilizar a atmosfera tem que ser menor.
- $\Delta_x \approx \mathcal{O}(m)$ $M = 0$

$$\frac{\partial CAPE}{\partial t} \approx \frac{\Delta CAPE}{\Delta t} \approx = \frac{-CAPE}{\tau}$$

- Incrementando o tempo de ajuste da convecção τ diminui o consumo de CAPE, diminuindo a atividade convectiva [Done 2006, Zheng *et al.* 2016 no Esquema Kain Fritsch].

$$\tau = \frac{H}{w_a} \alpha_x \quad \alpha_x = \left(1 + \ln \frac{15}{\Delta_x} \right)^3$$

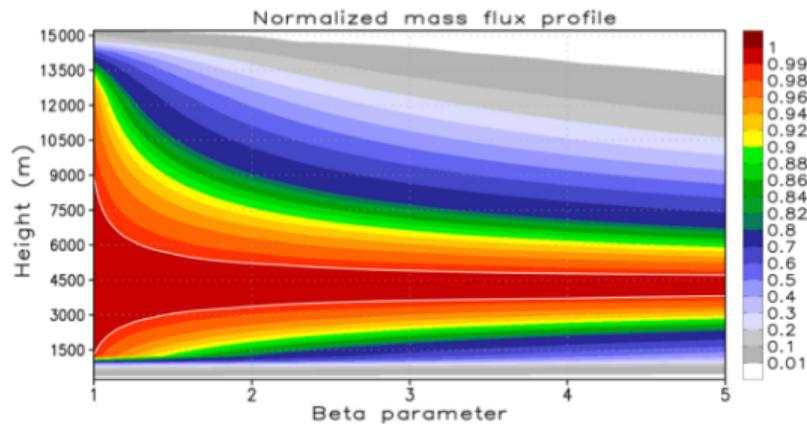


2) ESQUEMA FM:GRELL-FREITAS

AVANÇOS: G-F 2014 BASEADA G-DEVENYI, GRELL

- Uso da função β , distribuição de probabilidades para representar a média estatística dos perfis de fluxo de massa. Parâmetros perturbados estocasticamente (β e r_k)

$$M_{a,d}^*(r_k) = Cr_k^\alpha - 1(1 - r_k)^\beta - 1$$



Freitas et al. [2021]

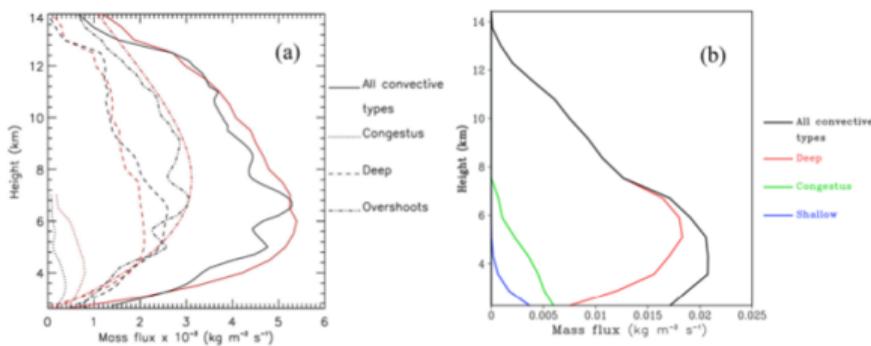


2) ESQUEMA FM:GRELL-FREITAS

AVANÇOS: G-F 2014 BASEADA G-DEVENYI, GRELL

- Tamanho espectral trimodal para simular convecção **rasa**, **congestus** e **profunda**. Cada uma representada através da função β e definida pelo fluxo massa na base.

Modelo 1D: CCPP na Campanha TWP-ICE(Tropical Warm Pool International Cloud Experiment), Darwin Australia



Freitas et al. [2021]



2) ESQUEMA FM:GRELL-FREITAS

AVANÇOS: G-F 2014 BASEADA G-DEVENYI, GRELL

- Associado com cada modo existe um fechamento adequado para o cálculo do fluxo de massa na base da nuvem, Taxas de Entranhamento e Detranhamento.

Convecção Rasa: $M_b = \eta F_{in} / TCAPE$

$$\epsilon = 7 \times 10^{-5}, 3 \times 10^{-4}, 1 \times 10^{-3} \quad \epsilon^* = \begin{cases} \frac{1}{M_u} \frac{dM_u}{dz} + \delta(z), & z \leq z_{max} \\ \epsilon(z), & z > z_{max} \end{cases}$$

$$\delta = 0.1\epsilon(z), 0.5\epsilon(z), 0.75\epsilon(z) \quad \delta^* = \begin{cases} \delta(z) & z \leq z_{max} \\ -\frac{1}{M_u} \frac{dM_u}{dz} + \epsilon(z), & z > z_{max} \end{cases}$$

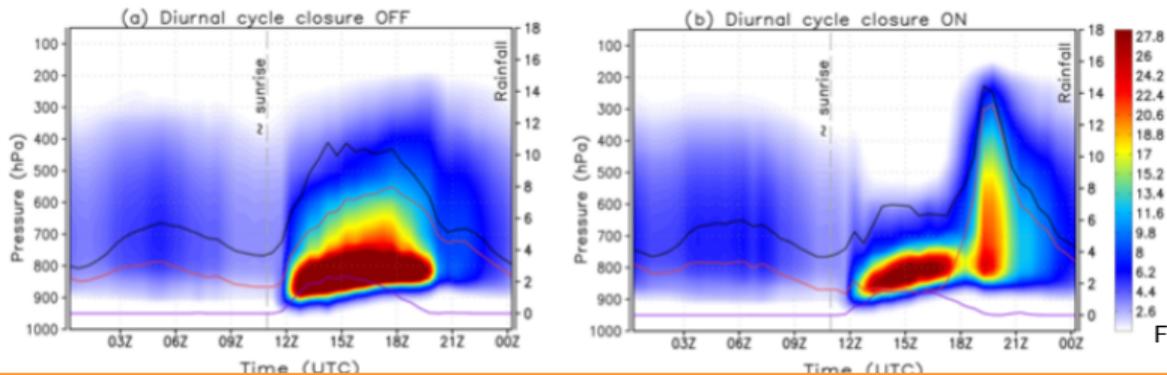


2) ESQUEMA FM:GRELL-FREITAS

AVANÇOS: G-F 2014 BASEADA G-DEVENYI, GRELL

- Novo fechamento para convecção em estado de não equilíbrio. Baseado em Bechtold *et al* [2014].

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} \Big|_{conv} = -\frac{\Pi}{t} + \frac{\tau_{CLP}}{\tau} \frac{\partial \Pi}{\partial t} \Big|_{CLP}$$



Freitas et al. [2021]



2) ESQUEMA FM:GRELL-FREITAS

AVANÇOS: G-F 2014 BASEADA G-DEVENYI, GRELL

- Microfísica: Foi incluída a fase de gelo, para simular a conversão de água líquida em gelo nas correntes ascendentes, gerando liberação de calor e derretimento de neve em chuva.

$$dh = L_f q_i + (dh)_E$$

- Transporte de espécies químicas é considerado. Incorpora Efeito dos Aerossóis, através da conversão de água da nuvem em chuva dependendo dos Núcleos de Condensação.



IMPORTÂNCIA COM A ESCALA (SCALE AWARE) GF2014

Arakawa [2013]: Parametrizações de convecção baseada no fluxo de massa podem ser modificadas para trabalhar em todas as escalas horizontais reduzindo o transporte turbulento em função da fração horizontal em cada ponto de malha ocupada pelas correntes ascendentes, ou da fração convectiva ascendente $f_{n_a}(\delta)$.

$$\overline{w'\chi'} = (1 - \delta)^2 (\overline{w'\chi'})_{conv}$$

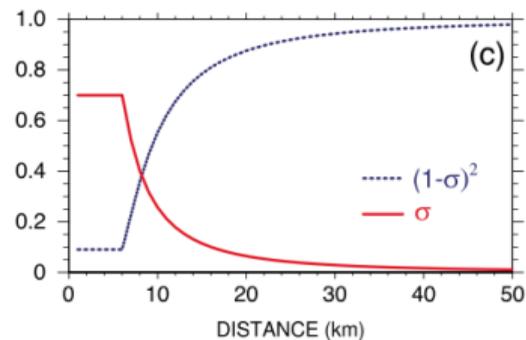
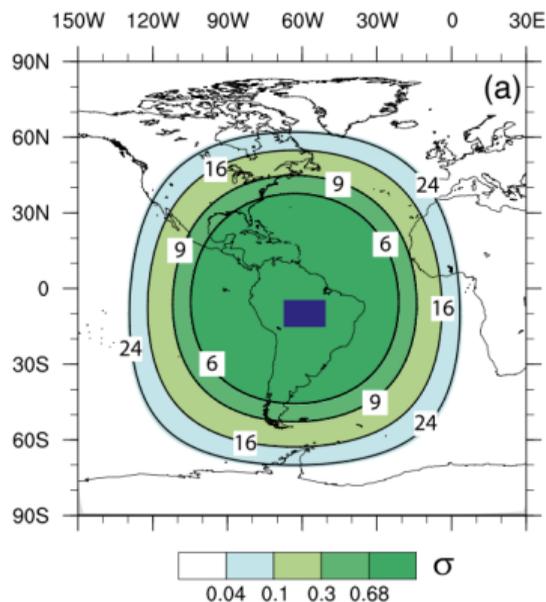
$$\delta = \frac{\pi R^2}{A} \quad R = \frac{0.2}{\epsilon} \quad \epsilon \approx 1 \times 10^{-5} \quad m^{-1}$$

Funciona a partir dos 20km , $\delta_{max}=0.7$



IMPORTÂNCIA COM A ESCALA (SCALE AWARE) GF2014

Malha centrada 4°S,63W° [50-3km]



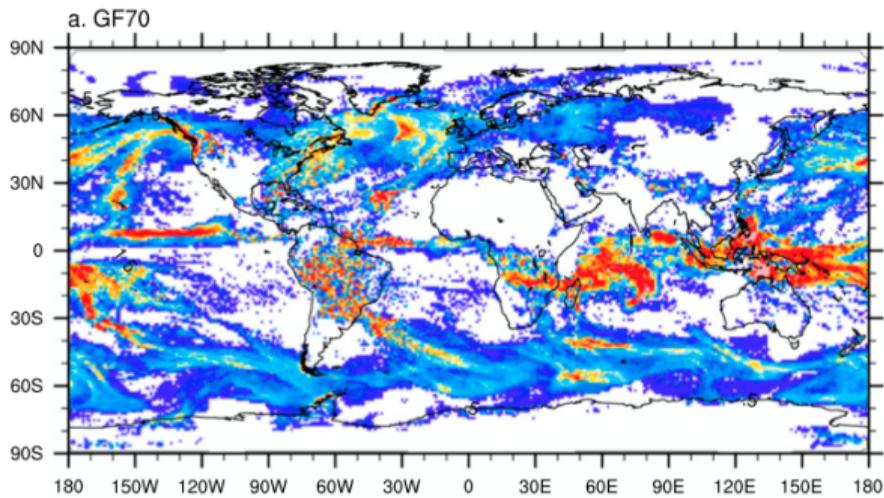
Freitas et al. [2014]



IMPORTÂNCIA COM A ESCALA (SCALE AWARE) GF2014

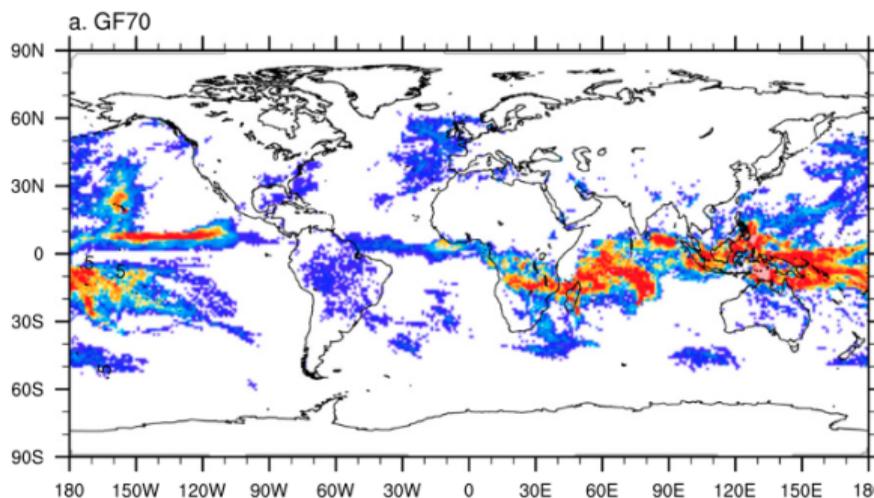
Previsão 11-14 Janeiro usando 50-3km.

Chuva Total



Freitas et al. [2014]

Chuva Convectiva



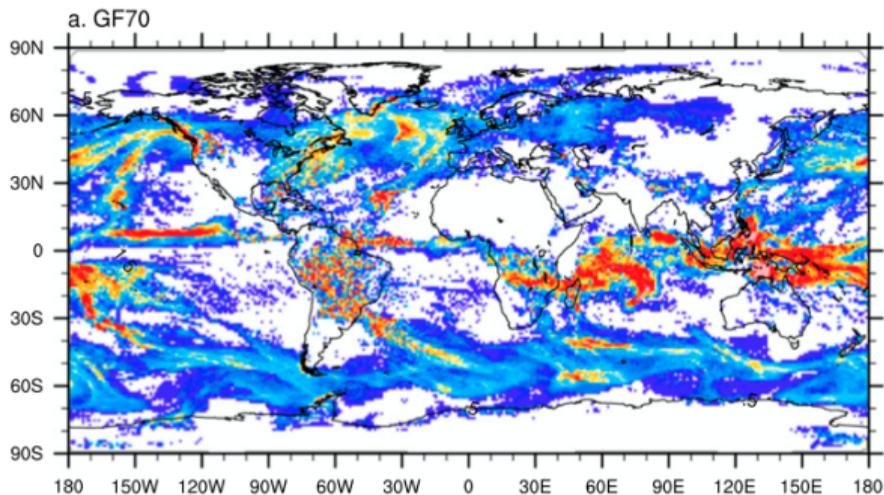
Freitas et al. [2014]



IMPORTÂNCIA COM A ESCALA (SCALE AWARE) GF2014

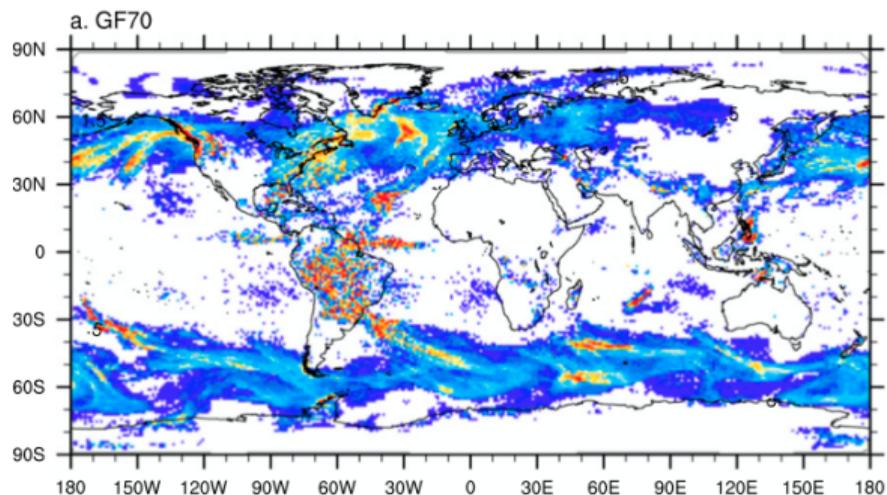
Previsão 11-14 Janeiro usando 50-3km.

Chuva Total



Freitas et al. [2014]

Chuva da Malha (Microfísica)



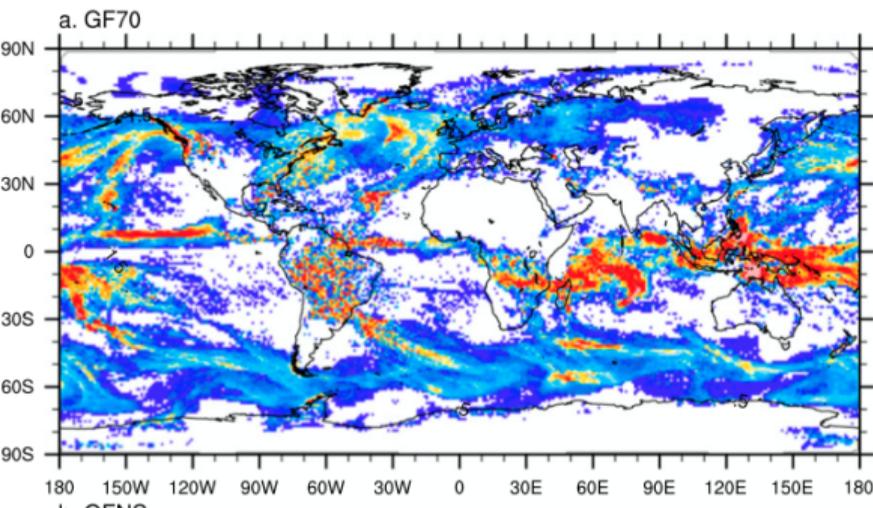
Freitas et al. [2014]



IMPORTÂNCIA COM A ESCALA (SCALE AWARE) GF2014

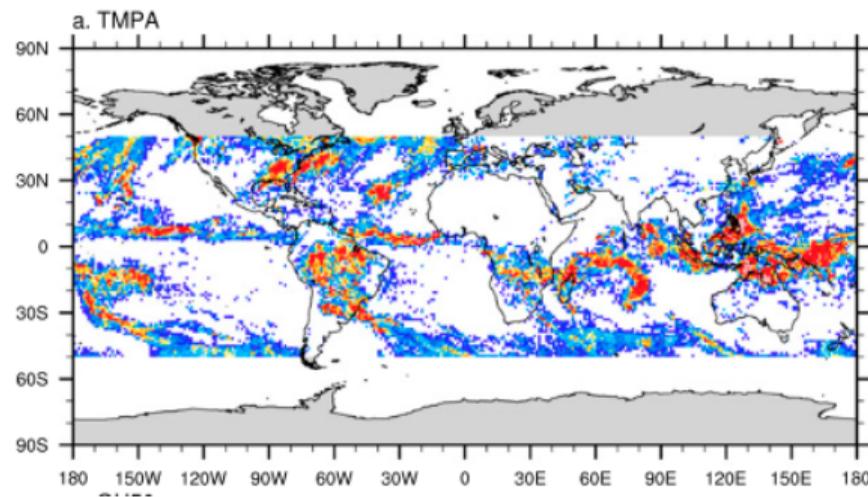
Previsão 11-14 Janeiro usando 50-3km.

Chuva Total



Freitas et al. [2014]

Satélite



Freitas et al. [2014]



Obrigado