



Malhas/Equações governantes / Discretizações

Paulo(20min)	Aspectos gerais do núcleo dinâmico	Malhas/Equações governantes/Discretizações
Paulo(20min)	parametrizações físicas do modelo	

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Cachoeira paulista
Setembro de 2023



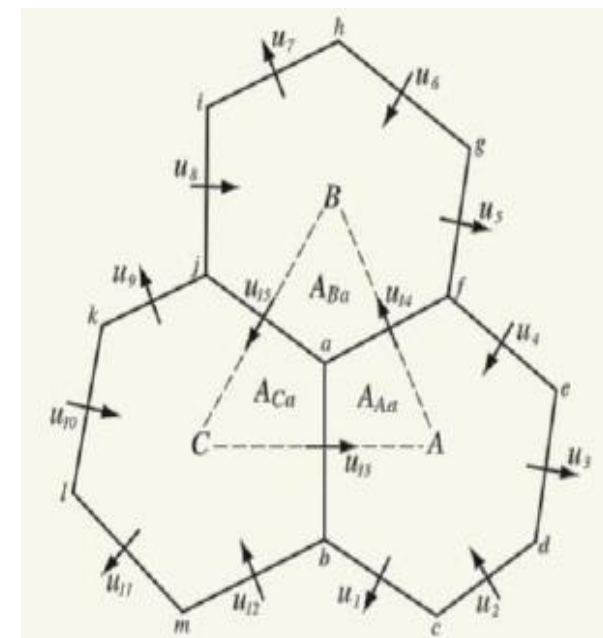
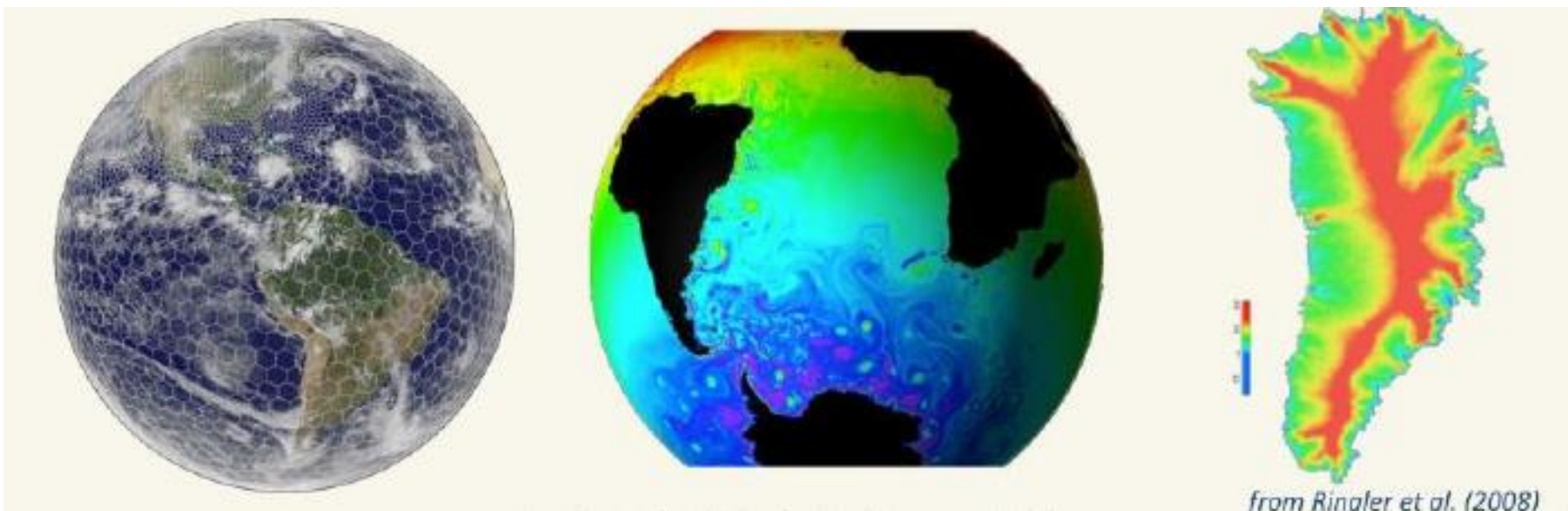
Descrição geral
Modelo para Previsão em Diferentes Escalas



Descrição geral

MONAN/MPAS

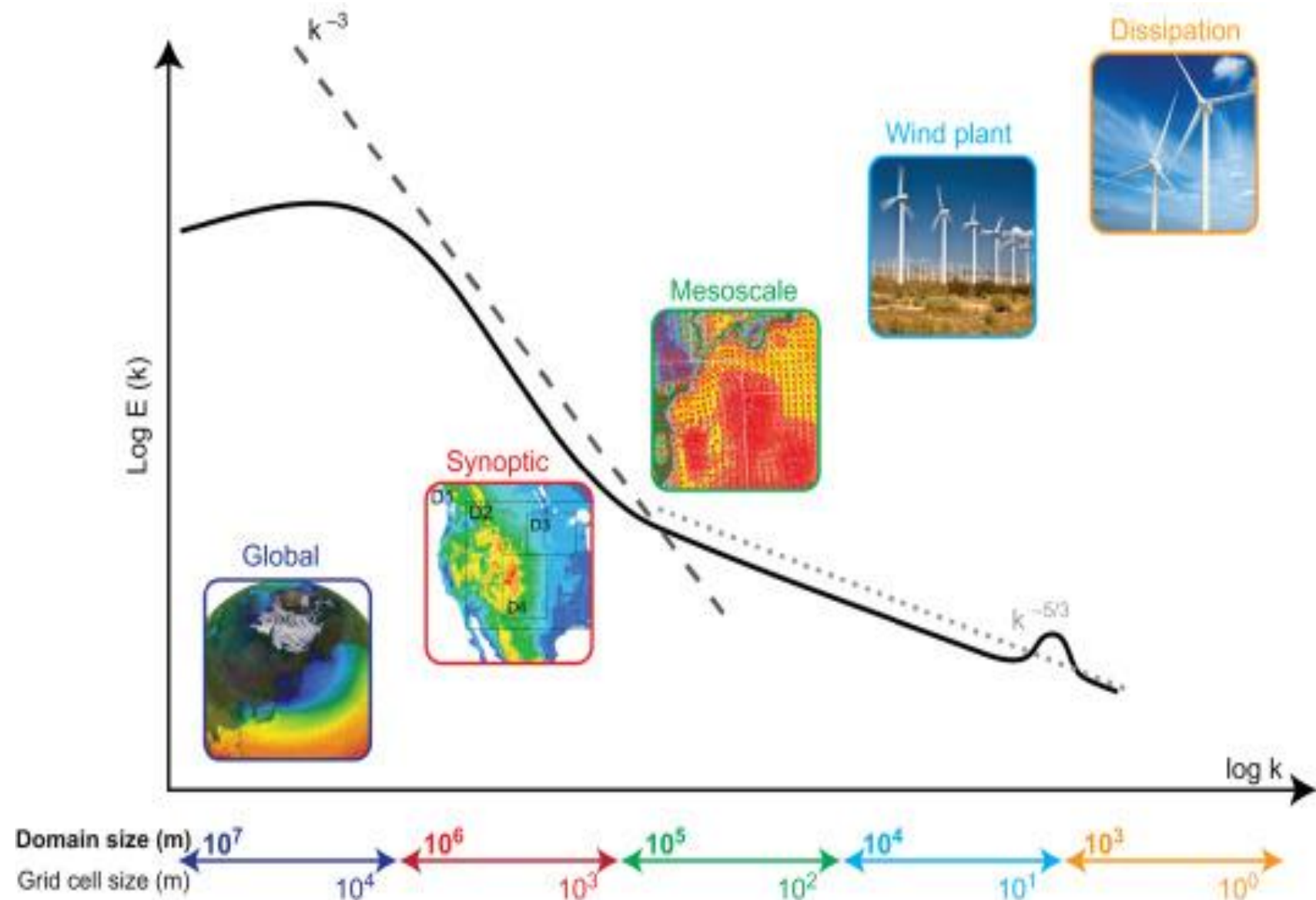
Modelo Atmosférico Baseado sobre o **Tessellation Centroide Voronoi (CVT)** com grade deslocada **C**



Modelo para Previsão em Diferentes Escalas



**O modelo MONAN
Tem o Objetivo de
Simular bem **Todas**
as Escalas**



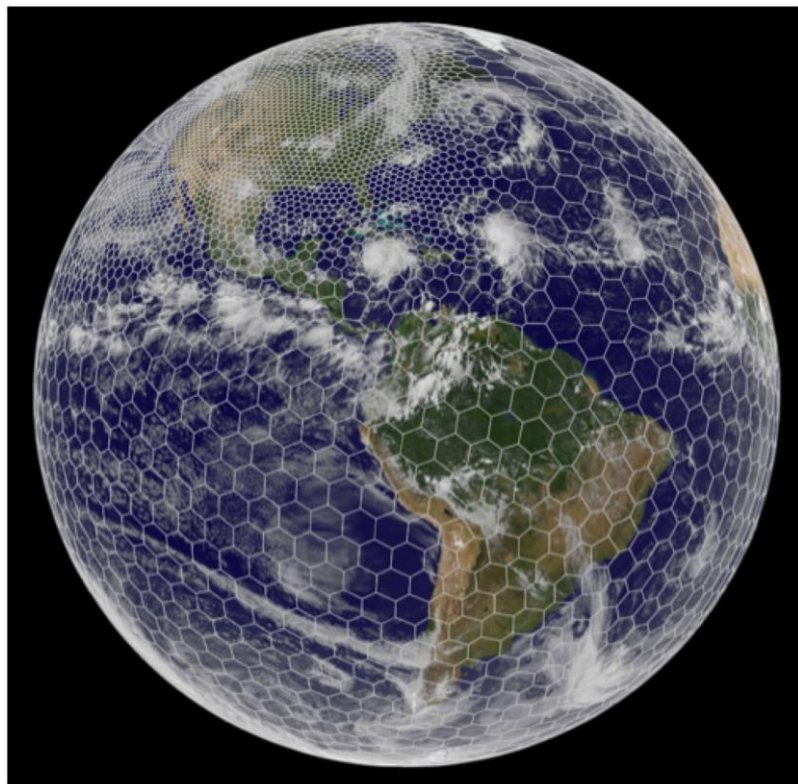


Descrição geral

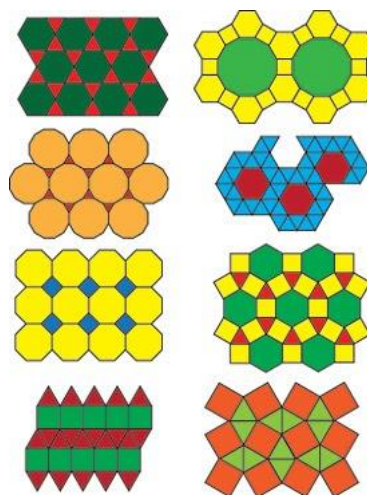
Tesselação centroidal de Voronoi (CVTs)

(Estrutura das Malhas MPAS)

Uma característica definidora dos modelos MPAS é o uso de **Tesselação** centroidal de Voronoi (CVTs) com um deslocamento de grade C



– Quando se restringe a ficar na superfície de uma esfera, geralmente os chamamos de **Tesselação** centroidal de Voronoi na esfera (SCVTs)



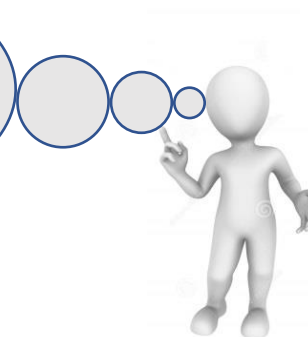
Semi-Regular Tessellation
(Two or more regular polygons cover the plane such that each vertex is surrounded by the same polygons in the same order)

Tesselação é o recobrimento de uma superfície bidimensional, tendo, como unidades básicas, polígonos congruentes (mesmo tamanho e a mesma forma) ou não, sem que existam espaços entre eles e de modo que a superfície total seja igual ao espaço particionado.

a) Adapta melhor a geometria esférica.

b) Pode ajudar a reduzir ondas espúrias devido ao formato da grade

c) Menos difusão Numérica



Dinâmica – Como Gerar a Grade Voronoi?

Dado um conjunto inicial de pontos geradores, o método de Lloyd pode ser usado para chegar a um CVT

1. Inicia com qualquer conjunto de pontos iniciais (o conjunto de pontos geradores)
2. Constrói um diagrama de Voronoi para o conjunto de pontos.
3. Localiza o centro de Massa de cada célula Voronoi.
4. Move cada ponto gerador para o centroide de massa da sua célula Voronoi
5. Repita o processo de 2 a 4 vezes para convergência

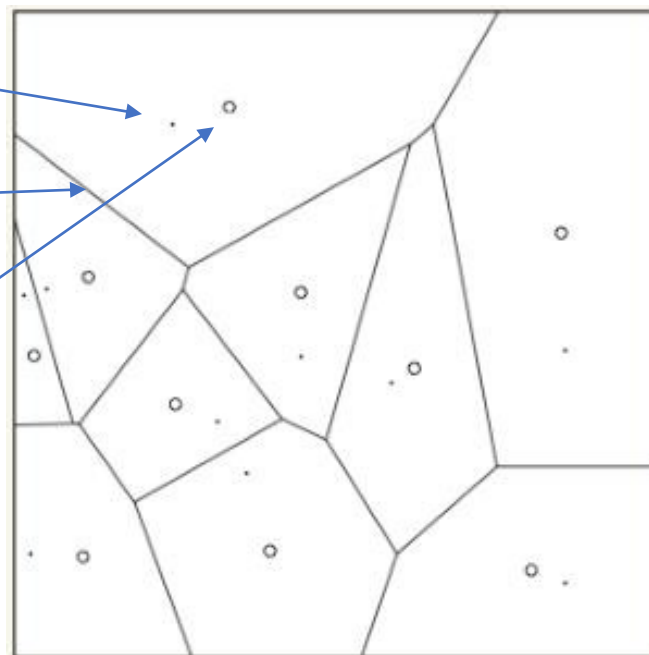
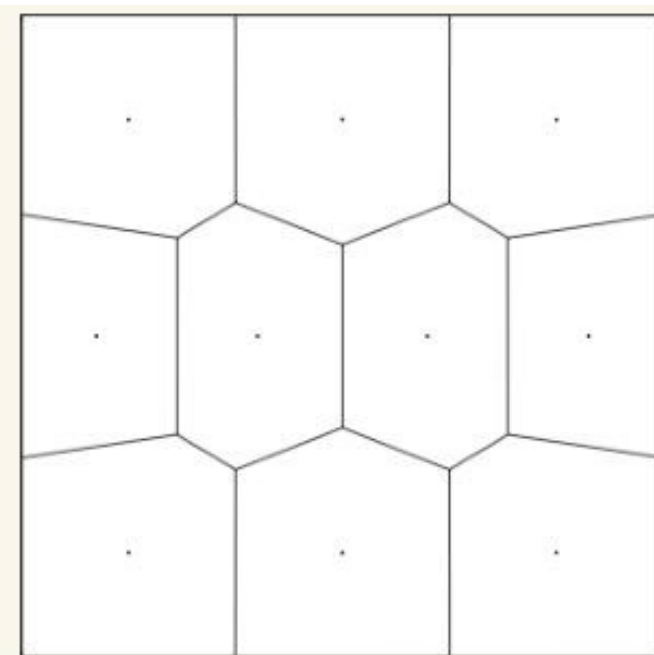


diagrama de Voronoi



From Du et al. (1999)

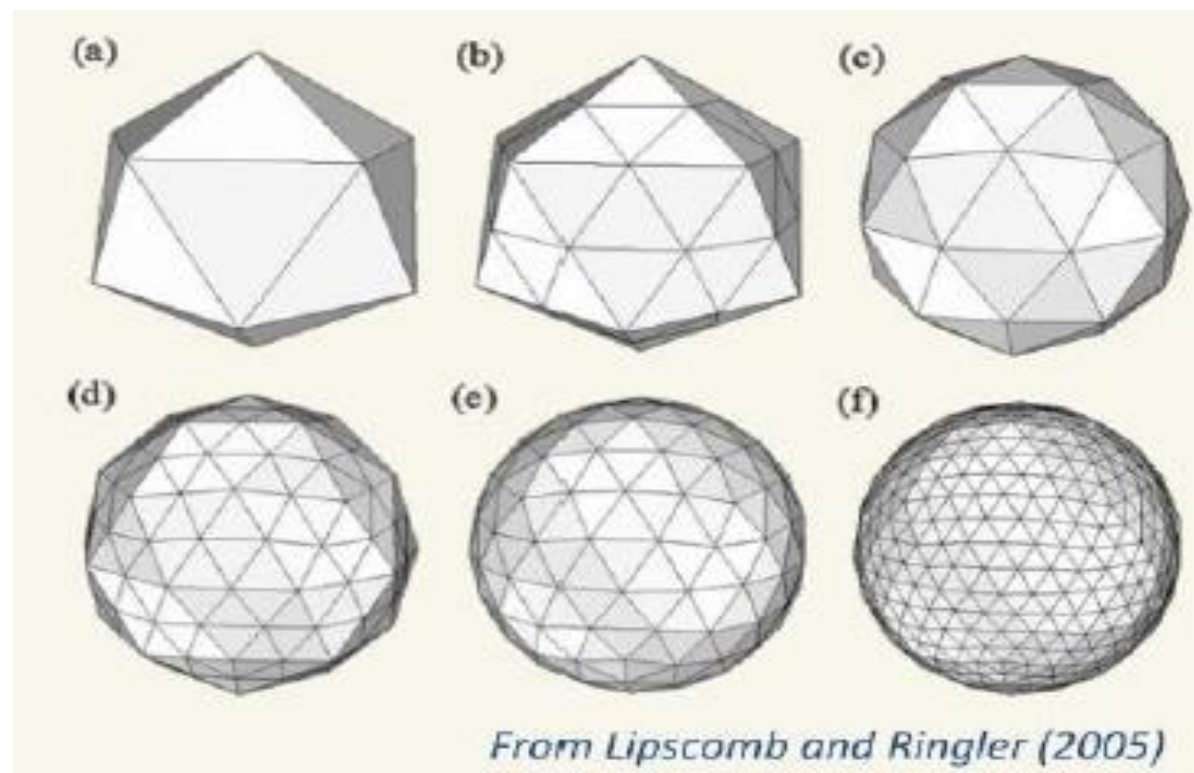
O Método de MacQueen's, uma alternativa randômica ao método de Lloyd que pode também ser utilizado. Nenhum diagrama de Voronoi necessita ser construído, mas a convergência é geralmente mais lenta.



Dinâmica – Gerando **SCVT esférico** **centroide de voronoi tessellation**

Para um **SCVT quase uniforme**, pode-se **empregar sucessiva subdivisão** de um **icosaedro**

Os **vértices desta malha triangular** pode ser utilizado como **pontos geradores** para um **Esférico Voronoi tessellation**



Para criar um esférico centroide de Voronoi tessellation algumas interações são necessárias **(Método de LLOYD)**

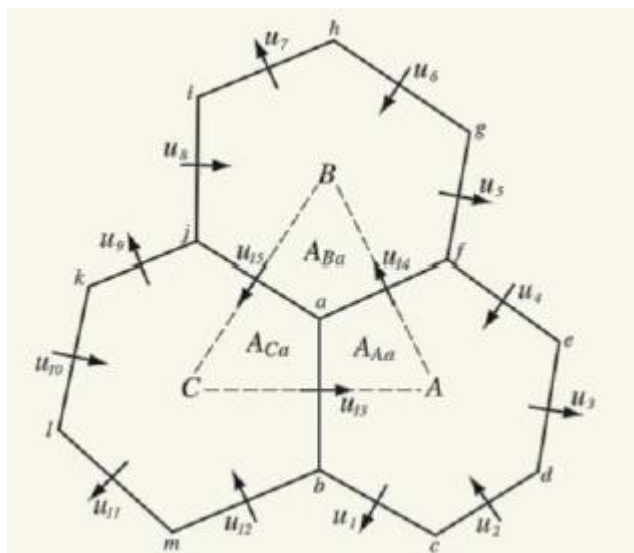


Dinâmica – Gerando SCVT Malha MPAS

A definição de aspectos do modelo MPAS é o uso de Teselection Centroide de Voronoi com a grade-C deslocada

VORONOI => Cada Volume de grade (Células) V_i é associada com um único ponto gerador x_i de modo que todos os pontos dentro de V_i *~estão mais próximo de x_i do que de qualquer outro ponto x_j*

Centroidal => o ponto gerador para cada célula Voronoi é também o centroide de massa daquela célula (wrt alguma função de densidade)



Velocidades prognósticas são velocidades normais as faces da células (aresta) no ponto onde a aresta cruza o arco que une as células em ambos os lados



Dinâmica

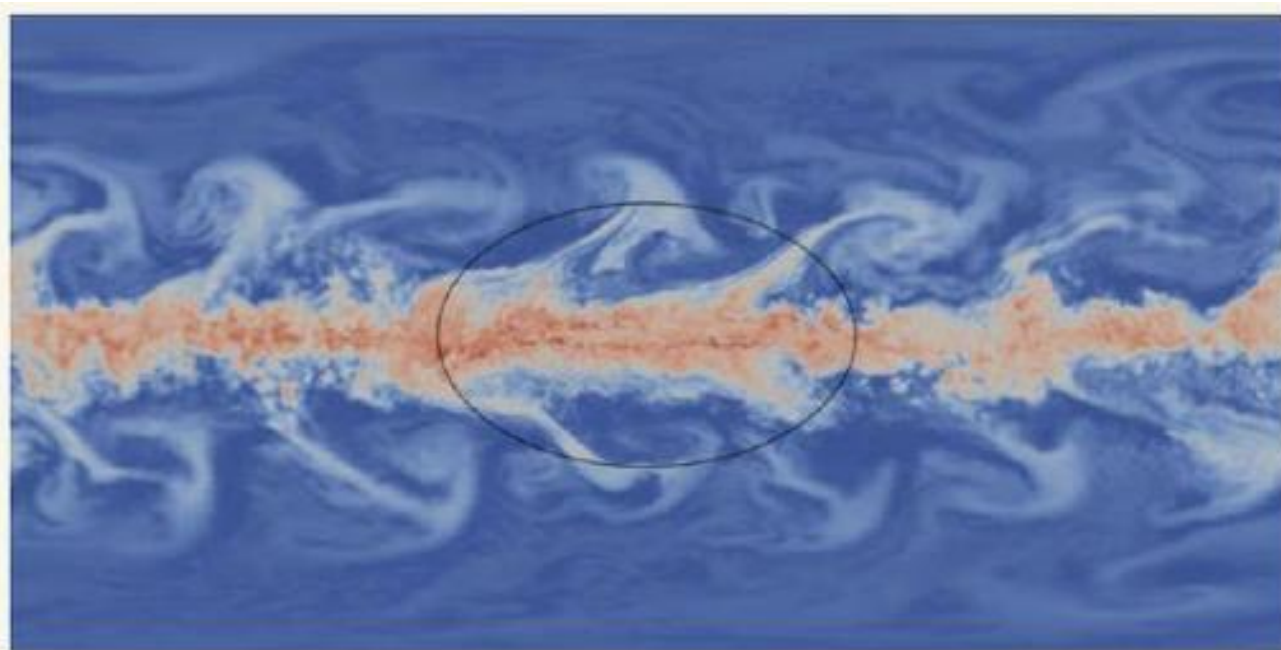
Refinamento Local



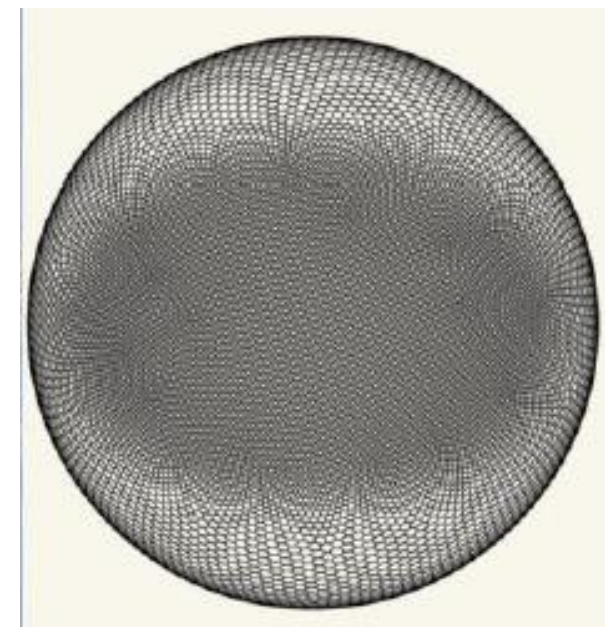
Dinâmica – Refinamento Local in action

Os resultados de uma **multi-resolução física-completa na simulação de aqua planet (MPAS hydrostatic atmosphere dentro do CCSM-CAM4)** conduzida pelo LLNC

Um poucos detalhes sobre refinamento de malha



Vapor de água, nível 5, **final de 15 meses de integração**, a **elipse define a região de refinamento** (a resolução grossa é 120km e a resolução fina é 40km)



Versão grossa da malha usada na multi-resolução na simulação de aqua planet



Dinâmica – Flexibilidade na decomposição em blocos

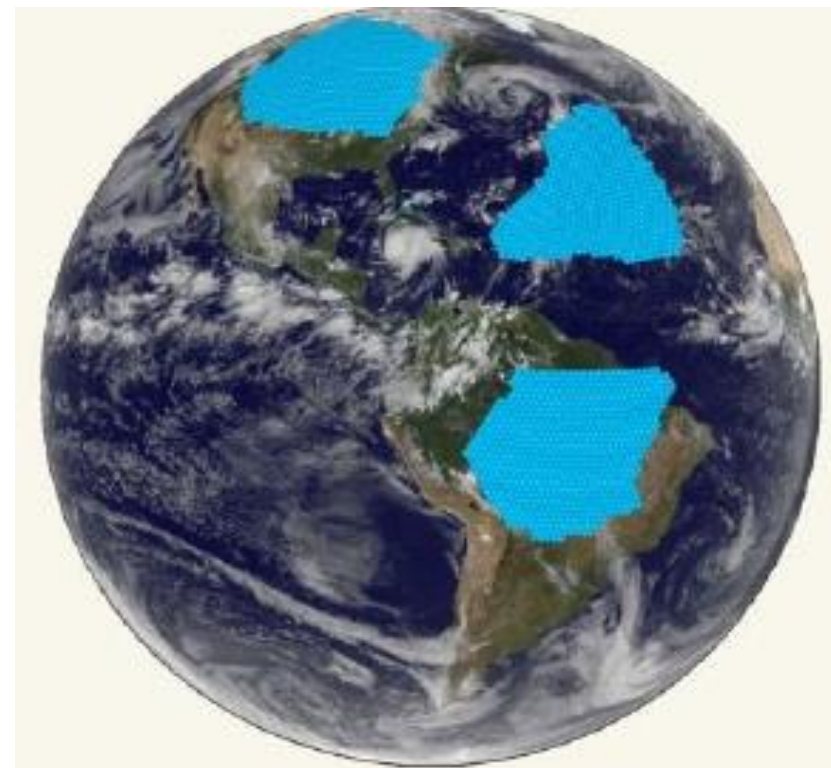
A habilidade para particionar um malha em blocos em mais blocos do que processadores pode ser útil (balanceamento de carga)

Embora o protótipo correto da infraestrutura MPAS não lide com vários blocos por processo, pretende-se oferecer suporte a isso no futuro

Balanceamento de carga:

Atribua blocos de processo de **diferentes partes do domínio para minimizar o desequilíbrio de carga.**

- 1. De lados opostos da terra para equilibrar o dia e a noite.**
- 2. De regiões tropicais, de latitude média e de alta latitude para balanceamento de carga física**
- 3. Algoritmos para atribuir blocos de malhas não estruturadas podem ser interessantes!**



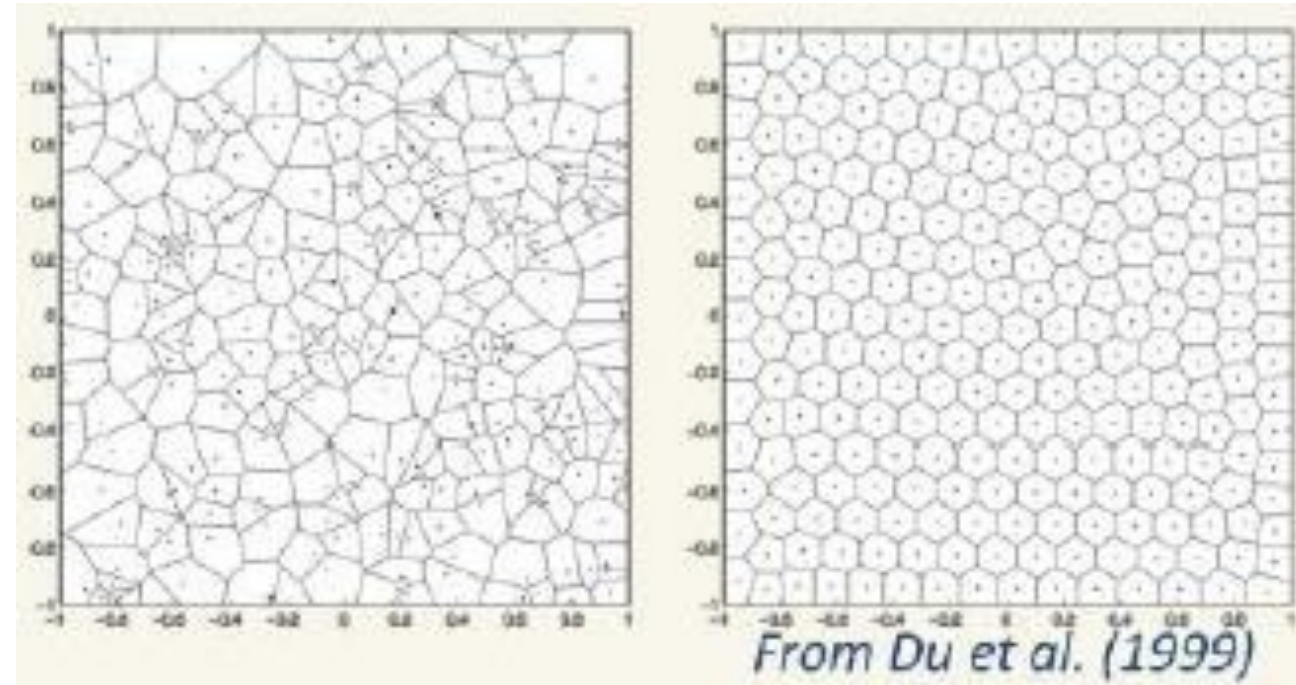


Dinâmica – Função de Densidade – A Chave para o Refinamento de Malha

O **método de Lloyd** pode ser visualizado como a **minimização de um funcional de energia**. No plano, pode-se mostrar que as **células hexagonais de Voronoi** fornecem a configuração de energia mínima para densidade constante

Para criar regiões de **refinamento da grade**, simplesmente **defini-se uma função de densidade não uniforme sobre o domínio** e **usa-se isso ao calcular os centróides de massa das células de Voronoi** no método LLOYD.

Para uma **função densidade** $\rho(x) > 0$, conjectura-se (Ju et al. (2010)) que, **à medida que o número de Células de Voronoi aumenta**, os diâmetros, h_i e h_j das células de Voronoi associadas aos pontos geradores x_i e x_j são relacionados por:



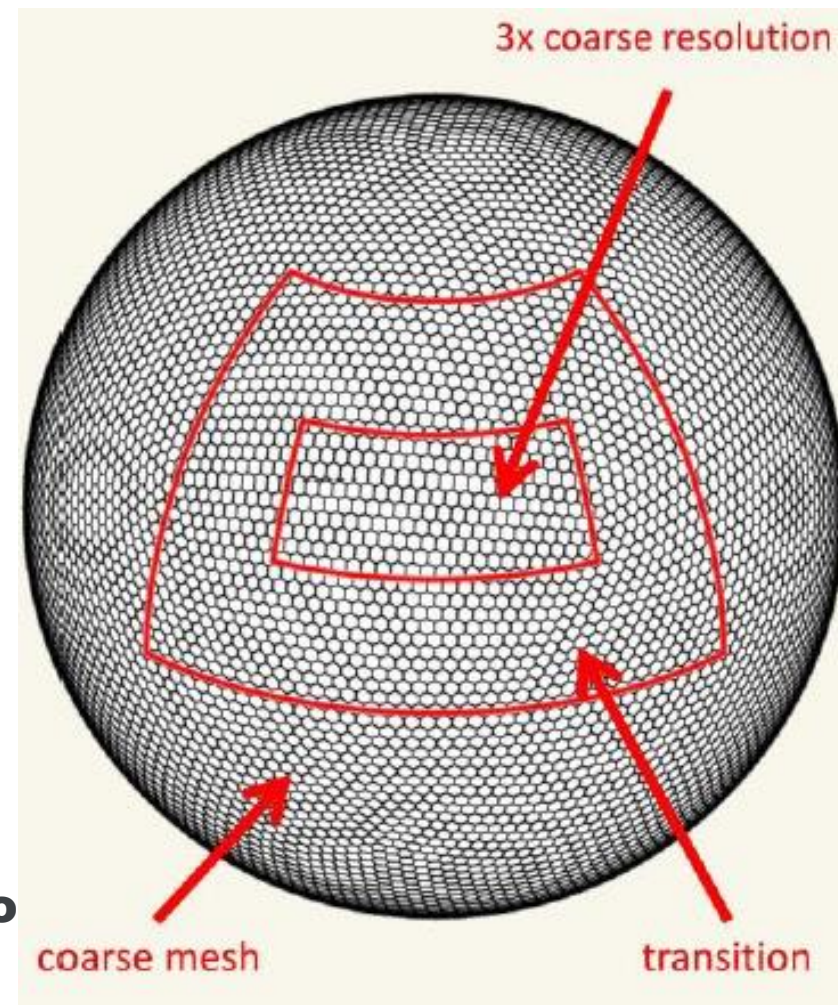
$$\frac{h_i}{h_j} \approx \left(\frac{\rho(x_j)}{\rho(x_i)} \right)^{\frac{1}{(d'+2)}} \quad \text{com } d' = 2$$

Dinâmica – Possíveis direções para obter o refinamento de malha local

Uma abordagem simples para gerar uma **malha de resolução variável**:

- 1) Estabeleça as **resoluções relativas desejadas** no domínio das simulações.
- 2) Defina a **função de densidade** como a quarta potência de resolução relativa.
- 3) Começando **com uma malha uniforme com número apropriado de células**, execute o método de Lloyd para convergência.

A desvantagem desta abordagem é que a resolução absoluta da malha é difícil de prever com precisão.



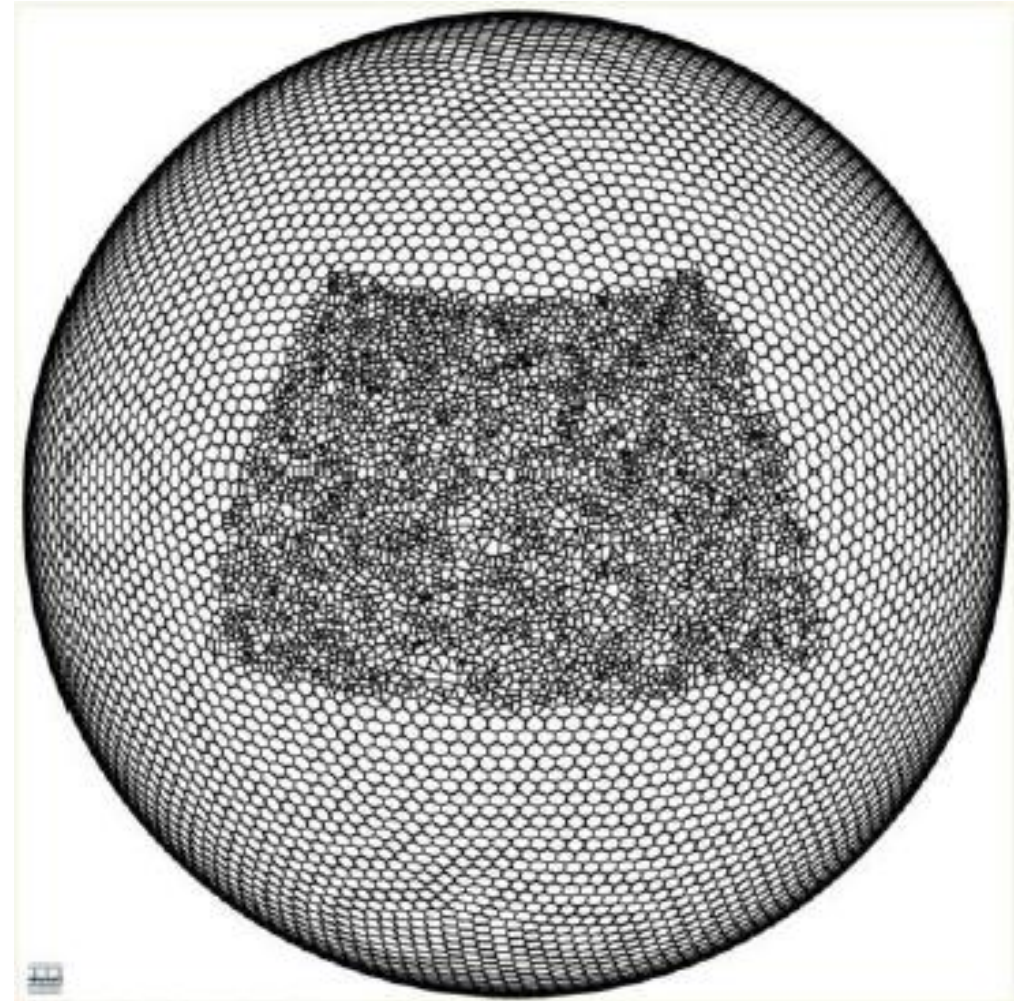


Dinâmica – Possíveis direções para obter o refinamento de malha local

Uma estratégia alternativa que mantém a resolução original da malha grossa é adicionar pontos de refinamento nas regiões de refinamento.

-manter as **células na região grosseira fixas enquanto que a interação ocorre apenas nas regiões de refinamento.**

- Mais aplicável onde **existem regiões de densidade constante com transições entre regiões de densidade**



For animation, please see

<http://www.mmm.ucar.edu/people/duda/files/mpas/talks/voronoi2.avi>

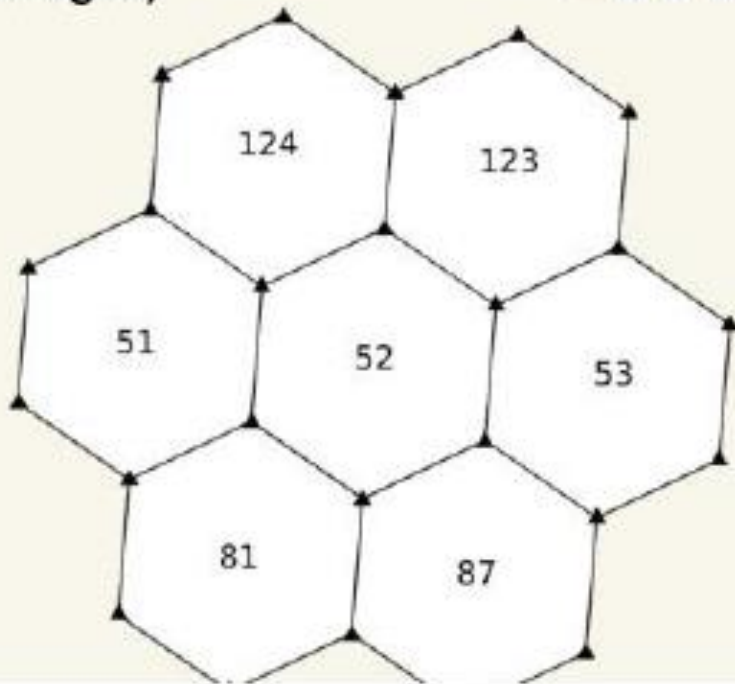


Coordenadas das células de grade Voronoi



- `cellsOnCell(maxEdges, nCells)` – the indices of cells adjacent to a cell
- `edgesOnCell(maxEdges, nCells)` – the indices of edges of a cell
- `verticesOnCell(maxEdges, nCells)` – the indices of vertices (corners) of a cell
- `nEdgesOnCell(nCells)` – the number of edges of a cell
- `edgesOnVertex(3, nVertices)` – the indices of edges incident with a vertex
- `areaCell(nCells)` – the area of a cell
- `dvEdge(nEdges)` – the length (vertex-to-vertex) of an edge

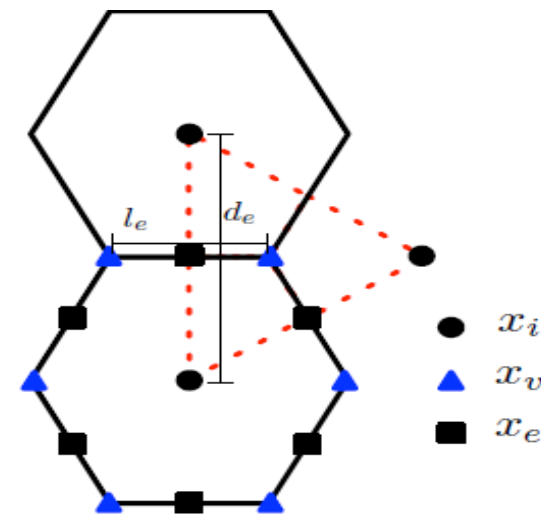
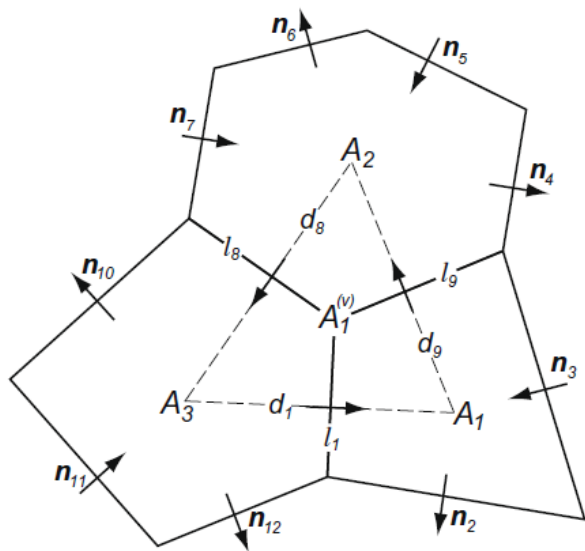
...



```
nEdgesOnCell(52) = 6
cellsOnCell(1, 52) = 51
cellsOnCell(2, 52) = 81
cellsOnCell(3, 52) = 87
cellsOnCell(4, 52) = 53
cellsOnCell(5, 52) = 123
cellsOnCell(6, 52) = 124
```

A malha representadas no MONAN/MPAS é composta por um conjunto de indexação e vector de geometria

"Esquema C-grid em uma grade poligonal arbitrária"



As **bordas primárias** são mostradas por **linhas contínuas**

As **bordas duais** por **linhas tracejadas**;

l_e é o comprimento da borda primária e ; d_e é o comprimento da borda dual e ;

A_i é a área da célula primária i ; $A_v^{(v)}$ é a área da célula dual v ;

n_e é a normal unitária na borda e indicando a direção correspondente a u_e positivo."

" x_i , o gerador da célula de Voronoi i ,

x_v , o centro circunscrito do triângulo v ,

x_e , é a e – esima (eth) interseção entre as bordas das células de grades de Voronoi primária e a células de grades de Delaunay duais,



Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

Operadores na malha Voronoi

Dinâmica – Operadores na malha Voronoi (Divergência)

Teorema da Divergência de Gauss $\iiint_V \nabla \cdot \vec{F} dV = \iint_S \vec{F} \cdot n dS$

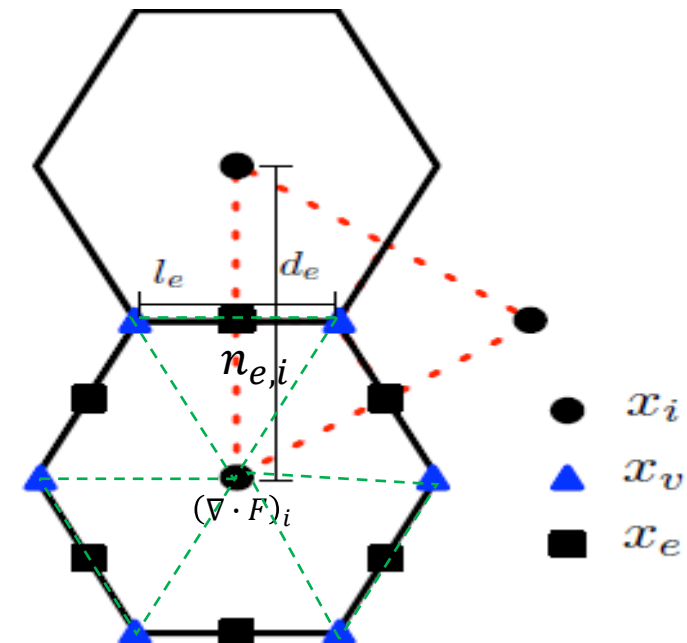
“tal que soma as contribuições de fluxo assinadas em cada coordenada de borda ao redor de uma célula específica ($e \in EC(i)$), **é dividido pela área da célula de Voronoi** (A_i).

Usamos F_e para **um campo de fluxo arbitrário**, mas na prática isso será $F_e = \hat{h}_e u_e$ (onde \hat{h}_e é uma média dos valores h_i vizinhos).”

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(\theta)$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(0) = AB$$

$$(\nabla \cdot F)_i = \frac{1}{A_i} \sum_{e \in CE(e)} -n_{e,i} F_e l_e$$



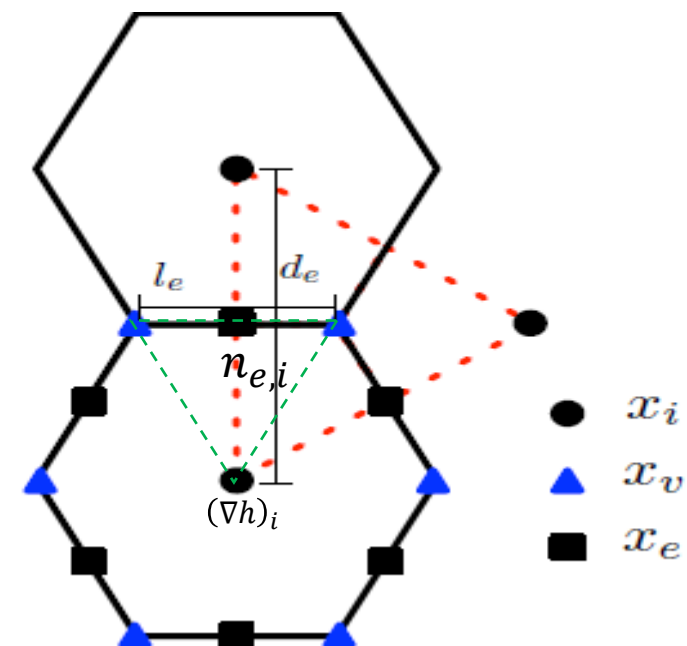
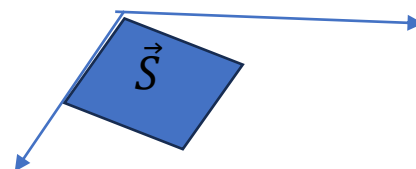
Dinâmica – Operadores na malha Voronoi (Gradiente)

$$\oint_{\partial S} \psi dl = \iint_S (\hat{n} \times \nabla \psi) dS \quad (\text{Teorema de Stokes})$$

O operador de gradiente faz a média dos valores vinculados ao centro de Voronoi (h, b, K) , levando em consideração a direção por meio da função indicadora $n_{e,i}$, para as duas células adjacentes a uma determinada borda $(i \in CE(e))$."

\hat{h}_e é uma média dos valores h_i vizinhos

$$(\nabla h)_e = \frac{1}{d_e} \sum_{i \in CE(e)} -n_{e,i} \hat{h}_{e,i}$$



Dinâmica – Operadores na malha Voronoi (Rotacional)

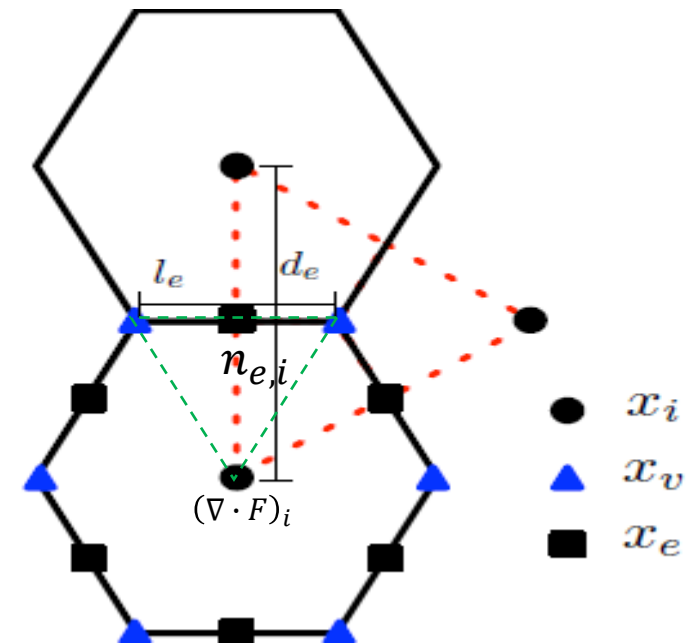
"Por último, temos o rotacional, usado para o termo de vorticidade absoluta na equação de momentum e para a velocidade perpendicular, u^\perp . Aqui, pelo Teorema de Stokes, somamos o fluxo em cada borda que cerca uma célula de Delaunay ($e \in EV(v)$), considerando o sinal através de $t_{e,v}$ e o comprimento da borda, d_e , depois dividimos pela área da célula de Delaunay, A_v "

$$\oint_{\partial V} (\hat{n} \times \nabla \psi) d\vec{S} = \iiint_V (\nabla \times \nabla \psi) dV \quad (\text{teorema de Gauss})$$

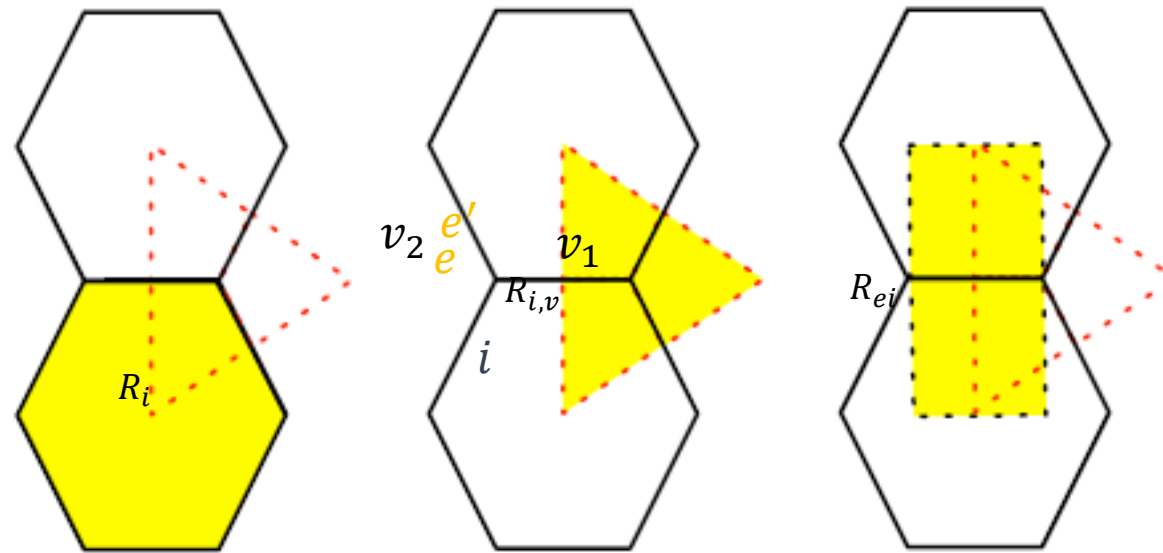
$$\oint_{\partial S} \psi dl = \iint_S (\hat{n} \times \nabla \psi) dS \quad (\text{Teorema de Stokes})$$

$F_e = \hat{h}_e u_e$ (onde \hat{h}_e é uma média dos valores h_i vizinhos)."

$$k \cdot (\nabla \times F)_v = \frac{1}{A_v} \sum_{e \in EV(v)} t_{e,v} F_e d_e$$



Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE



$$w_{e,e'} = \frac{n_{e',i}}{t_{e',v_2}} \left(\left[\sum_v R_{i,v} \right] - \frac{1}{2} \right)$$

Figure 7.2: The areas of interest in the MPAS model: A_i , the area of Voronoi cell i , A_v , the area of Delaunay cell v , and A_e , the area of the parallelogram formed by considering l_e and d_e as vectors for edge e .

"Na expressão para $w_{e,e'}$, v é o conjunto de vértices encontrados ao atravessar de e' para e , com v_1 sendo o primeiro vértice encontrado e v_2 o último encontrado, ou seja, $v = \{v_1, \dots, v_2\}$. $R_{i,v}$ é a área de interseção entre a célula i e o vértice v , normalizada pela área da célula i ."



Dinâmica – Equações Governantes **- MPAS Solver (Atmosfera Não Hidrostática)**



Dinâmica – Equações Governantes - MPAS Solver (Atmosfera Não Hidrostática)

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\frac{\partial P}{\partial \zeta} + g \tilde{\rho}_m \right] - (\nabla \cdot \vec{V} W)_\zeta + F_w$$

$$\frac{\partial \Theta_m}{\partial t} = -(\nabla \cdot \vec{V} \Theta_m)_\zeta + F_{\Theta_m}$$

$$\frac{\partial Q_j}{\partial t} = -(\nabla \cdot \vec{V} Q_j)_\zeta + F_{Q_j}$$

$$\frac{\partial \rho_d}{\partial t} = -(\nabla \cdot \vec{V})_\zeta$$

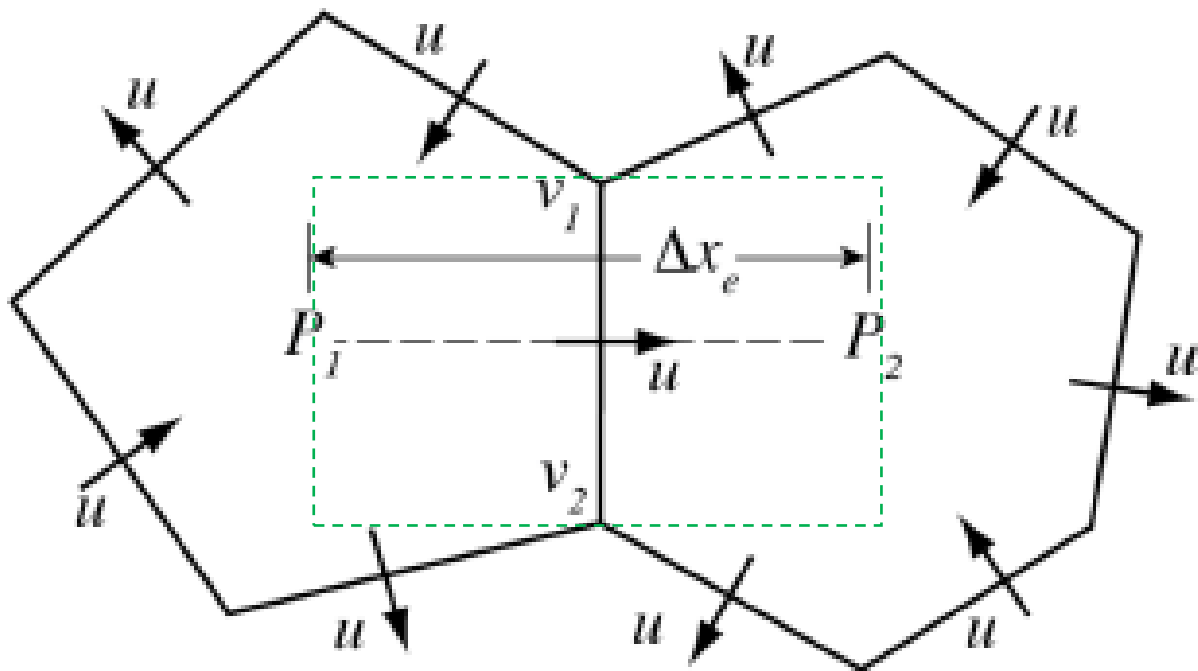
(1) Operador Gradiente

(2) Operador Divergência de Fluxo

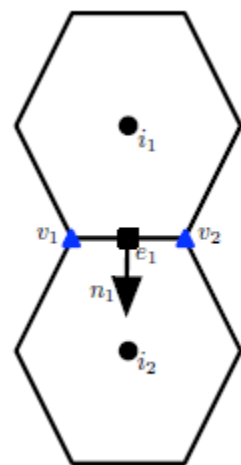
(3) Termo de Coriolis Não Linear

Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

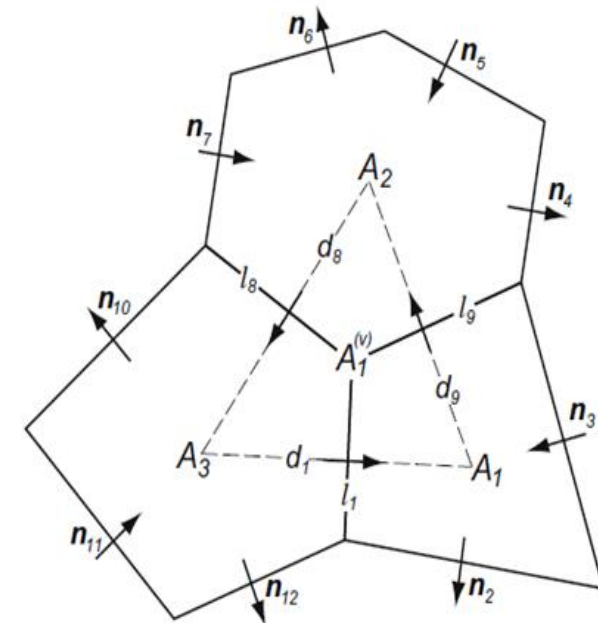
$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$



$$(\nabla h)_e = \frac{1}{d_e} \sum_{i \in CE(e)} -n_{e,i} \bar{h}_i$$



$$\begin{aligned} n_{1,1} &= 1 & n_{1,2} &= -1 \\ t_{1,2} &= 1 & t_{1,1} &= -1 \end{aligned}$$



"Na malha de Voronoi, $\overline{P_1 P_2}$ é perpendicular a $\overline{v_1 v_2}$ e é bissectada por $\overline{v_1 v_2}$, portanto, $P_x \sim \frac{(P_2 - P_1)}{\Delta x_e}$ é de segunda ordem de precisão."



Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

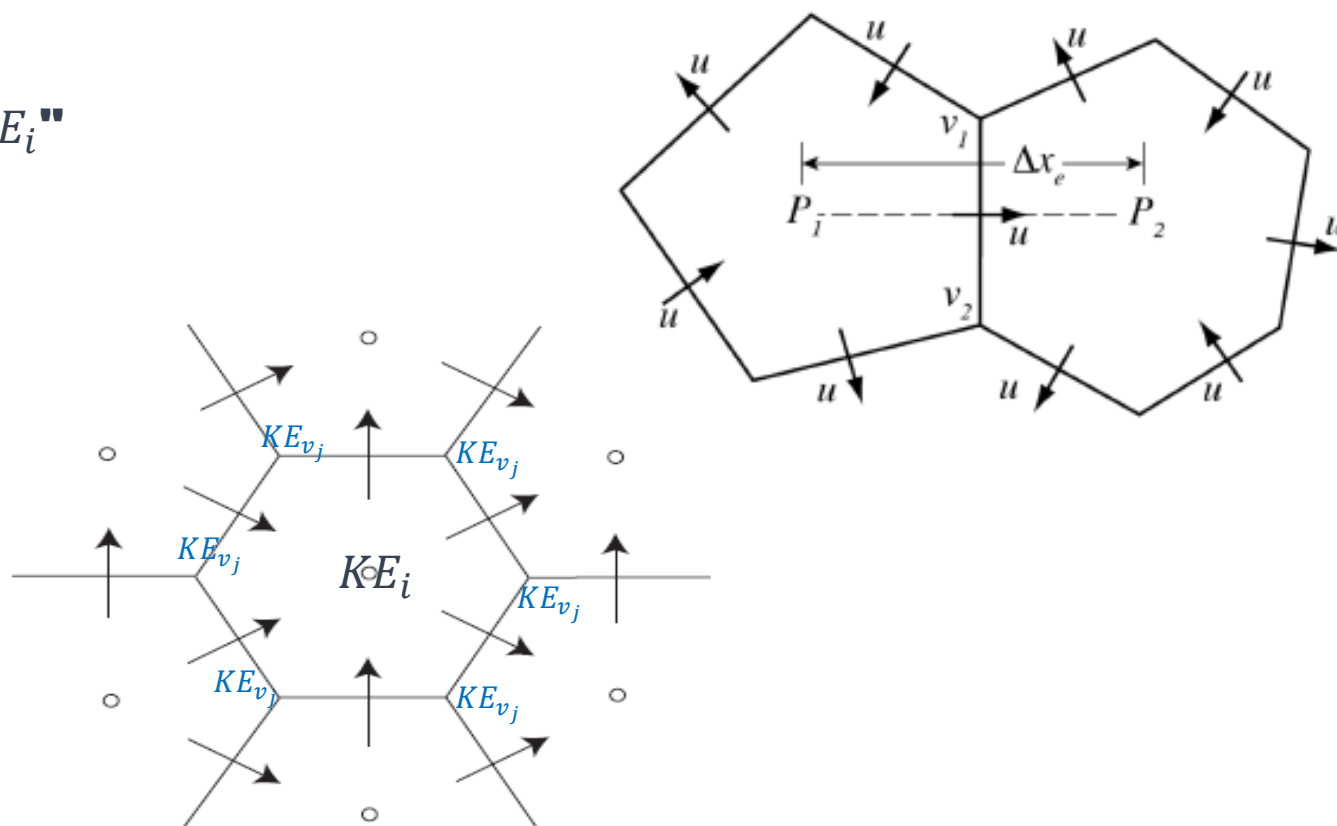
"Operadores na avaliação da energia cinética do centro da célula da Malha de Voronoi"

"Energia Cinética no Centro da Célula: KE_i "

$$KE_i = (1 - \beta) \sum_{e_i} w_{e_i} u_{e_i}^2 + \beta \sum_{v_j} w_{v_j} KE_{v_j}$$

"Energia Cinética no Vértice: KE_{v_j} "

$$KE_{v_j} = \sum_{e_v}^3 w_{e_v} u_{e_v}^2$$



Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

"Operadores na avaliação da energia cinética do centro da célula da Malha de Voronoi"

"Energia Cinética no Centro da Célula: KE_i "

$$KE_i = (1 - \beta) \sum_{e_i} w_{e_i} u_{e_i}^2 + \beta \sum_{v_j} w_{v_j} KE_{v_j}$$

"Energia Cinética no Vértice: KE_{v_j} "

$$KE_{v_j} = \sum_{e_v}^3 w_{e_v} u_{e_v}^2$$

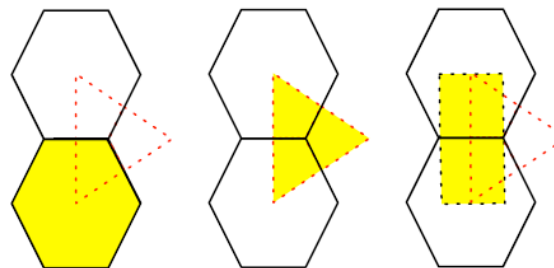
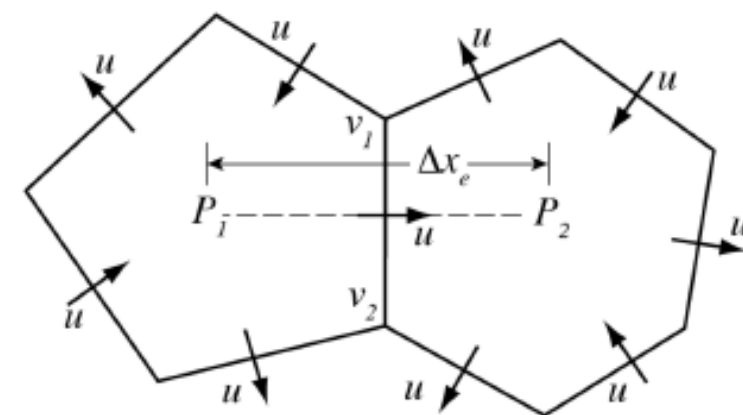
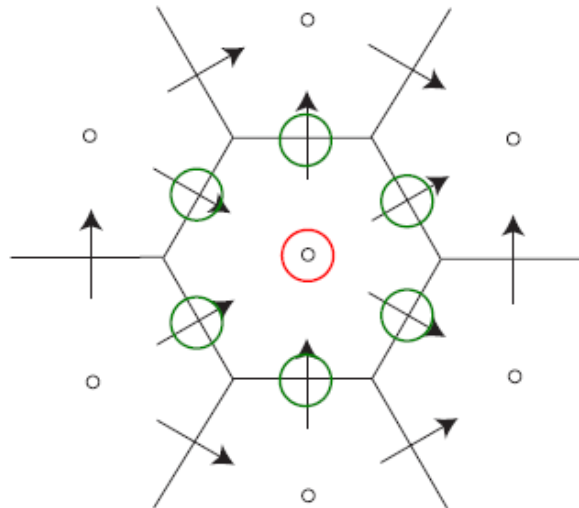


Figure 7.2: The areas of interest in the MPAS model: A_i , the area of Voronoi cell i , A_e , the area of Delaunay cell v , and A_e , the area of the parallelogram formed by considering l_e and d_e as vectors for edge e .





Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

"Operadores na avaliação da energia cinética do centro da célula da Malha de Voronoi"

"Energia Cinética no Centro da Célula: KE_i "

$$KE_i = (1 - \beta) \sum_{e_i} w_{e_i} u_{e_i}^2 + \beta \sum_{v_j} w_{v_j} KE_{v_j}$$

"Energia Cinética no Vértice: KE_{v_j} "

$$KE_{v_j} = \sum_{e_v} w_{e_v} u_{e_v}^2$$

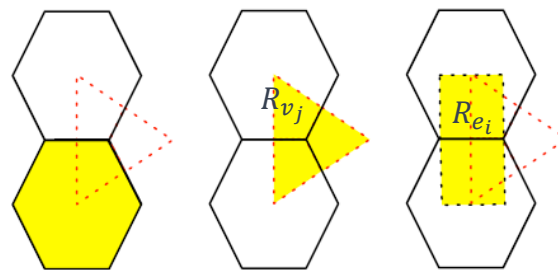
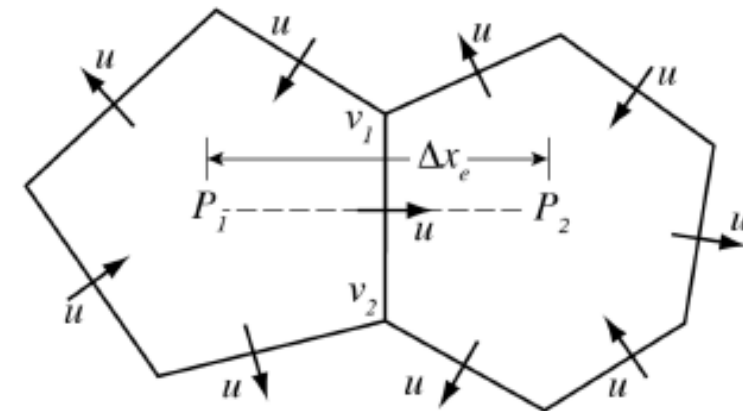
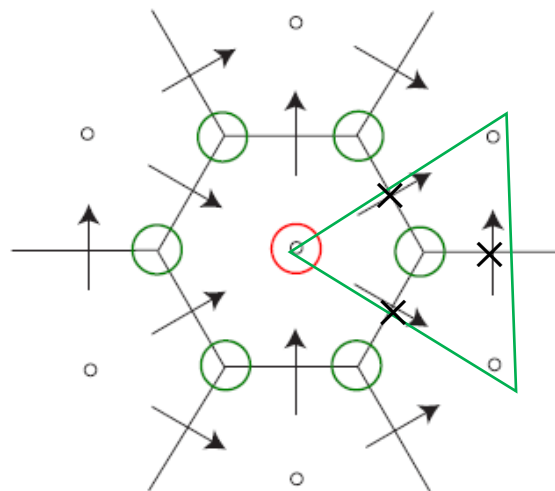


Figure 7.2: The areas of interest in the MPAS model: A_i , the area of Voronoi cell i , A_v , the area of Delaunay cell v , and A_e , the area of the parallelogram formed by considering l_e and d_e as vectors for edge e .



$$w_{e,e'} = \frac{n_{e',i}}{t_{e',v_2}} \left(\left[\sum_v R_{i,v} \right] - \frac{1}{2} \right)$$



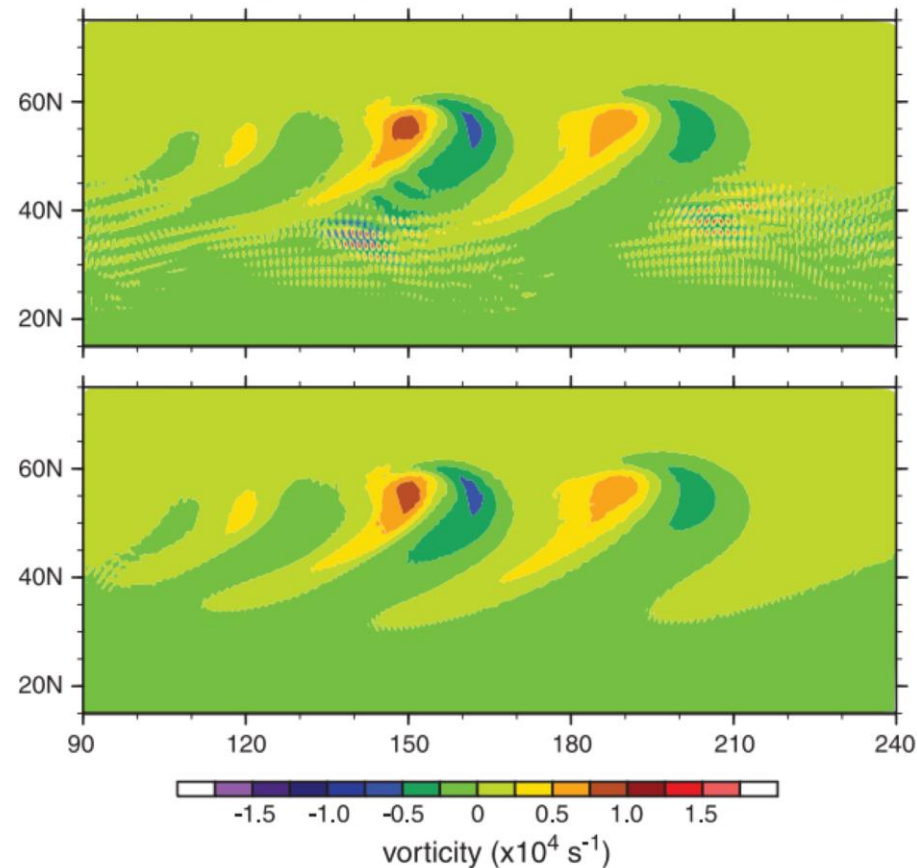
Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

$$KE_i = (1 - \beta) \sum_{e_i} w_{e_i} u_{e_i}^2 + \beta \sum_{v_j} w_{v_j} KE_{v_j}$$

$$MONAN - MPAS \text{ usa } \beta = \frac{3}{8}$$

Vorticity at day 8 on model level 5 (~ 850 hPa)





Dinâmica – "Operadores na Força de Coriolis 'Não Linear' da Malha de Voronoi"

$$k \cdot (\nabla \times F)_v = \frac{1}{A_v} \sum_{e \in EV(v)} t_{e,v} F_e d_e$$

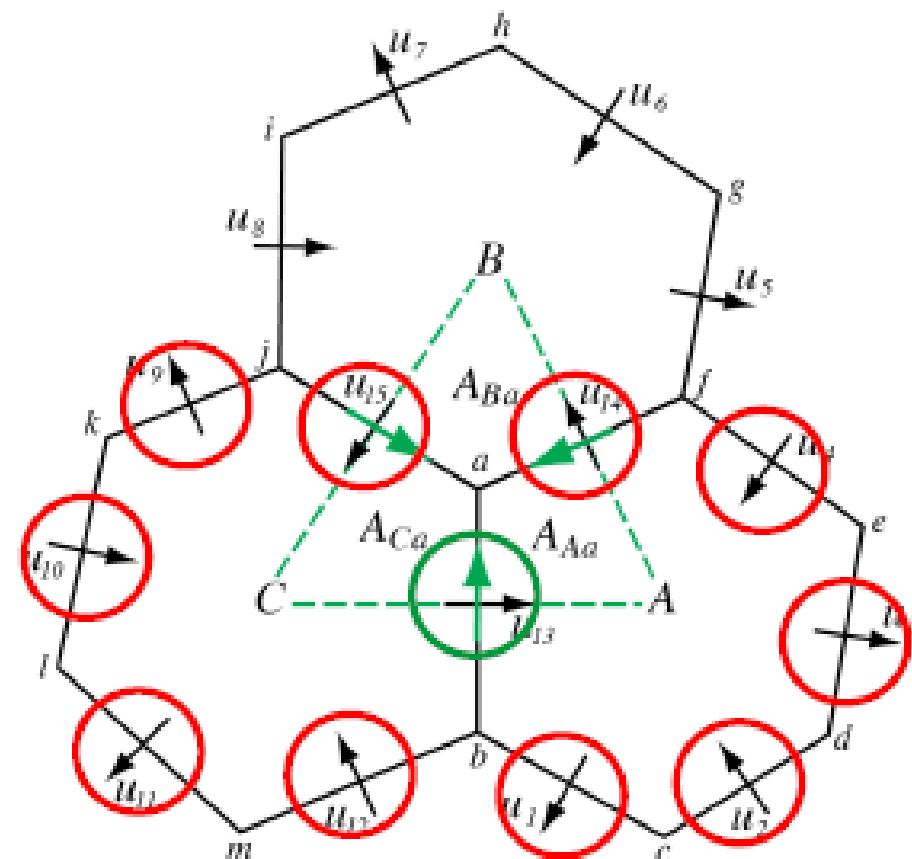
$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - k \cdot \eta \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

"Reconstrução da Velocidade Tangencial:"

$$v_{ei} = \sum_{j=1}^{n_{ei}} w_{ei,j} u_e$$

"Termo Não Linear:"

$$[\eta k \times \vec{V}_H]_{ei} = \sum_{j=1}^{n_{ei}} \frac{1}{2} (\eta_{ei} + \eta_{ei,j}) \rho_{ei,j} w_{ei,j} u_{ei,j}$$



"A reconstrução geral da velocidade tangencial produz uma divergência consistente nas grades primal e dual, e permite a conservação de PV, enstrophy e energia no solucionador SW não linear."

Dinâmica – "Operadores na Força de Coriolis 'Não Linear' da Malha de Voronoi

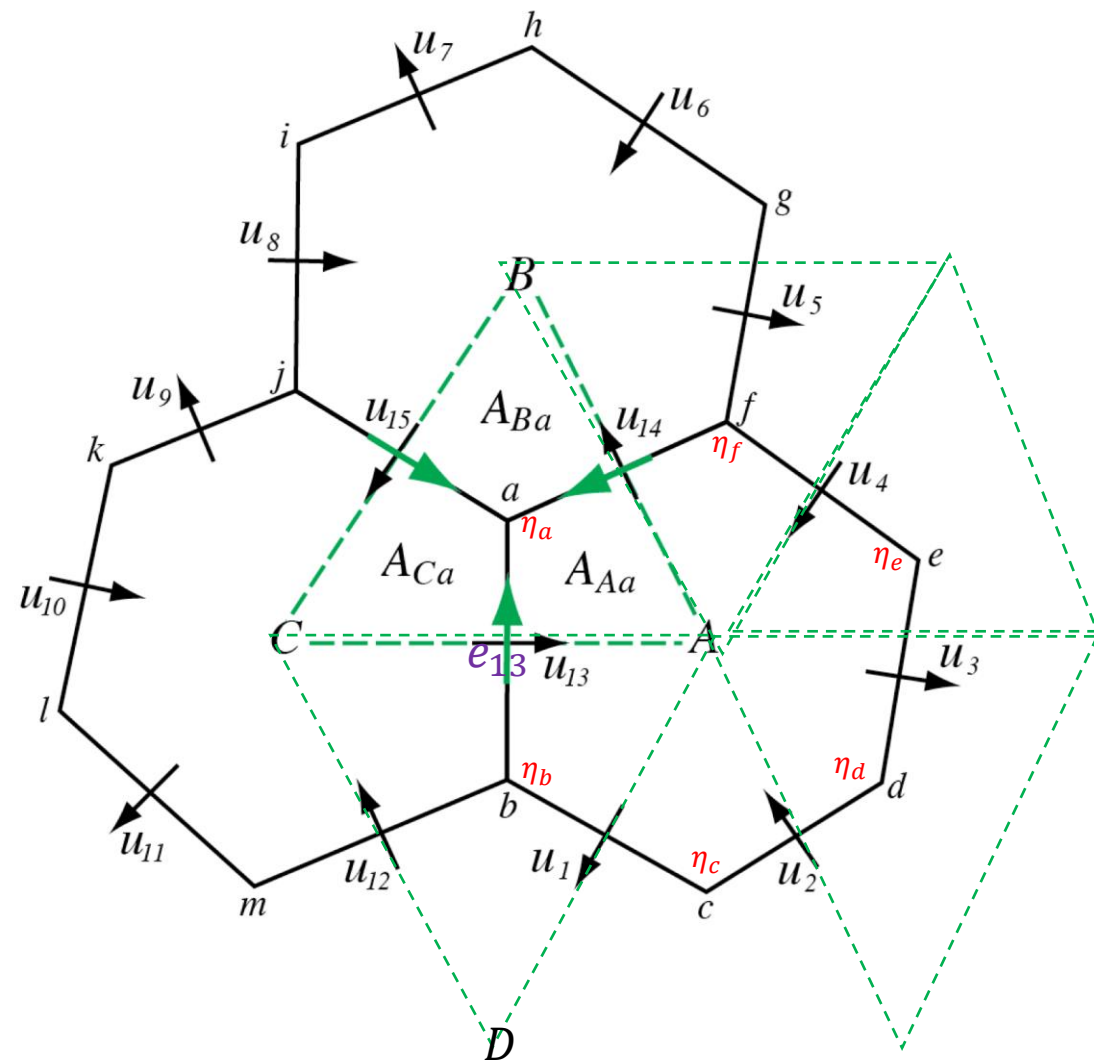
$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_v$$

$$[\eta k \times \vec{V}_H]_{e_i} = \sum_{j=1}^{n_{e_i}} \frac{1}{2} (\eta_{e_i} + \eta_{e_{i,j}}) w_{e_{i,j}} \rho_{e_{i,j}} u_{e_{i,j}}$$

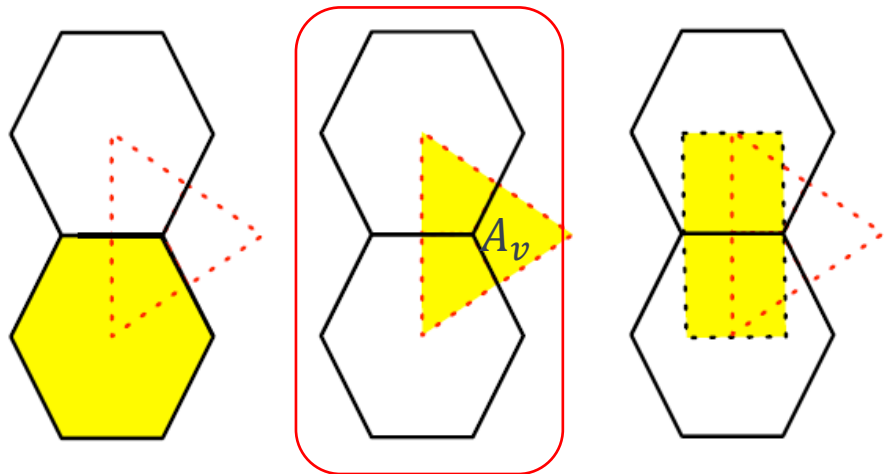
"Exemplo: vorticidade absoluta em e_{13} "

$$\eta_{13} = \frac{1}{2} (\eta_a + \eta_b)$$

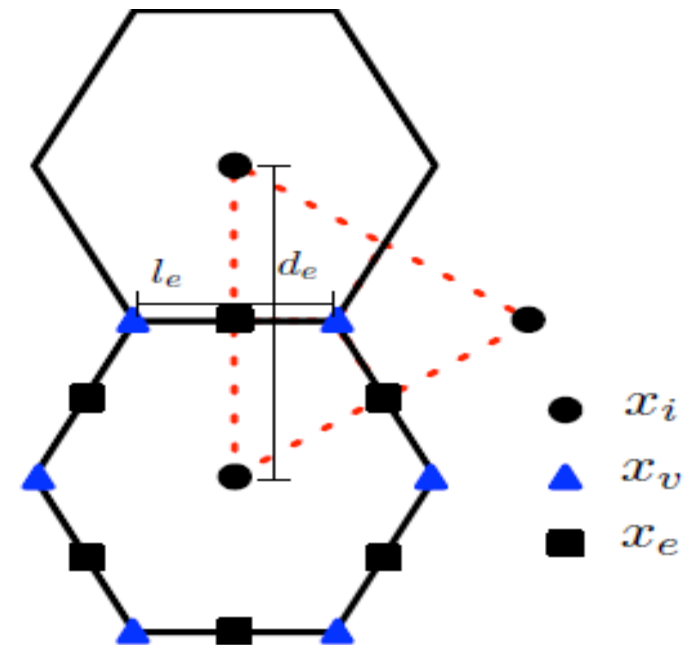
$$[\eta k \times \vec{V}_H]_{e_a} = \sum_{j=1}^{n_{e_a}} \frac{1}{2} (\eta_{e_a} + \eta_{e_b}) w_{e_b} \rho_{e_b} u_{e_b}$$



Dinâmica – "Operadores na Força de Coriolis 'Não Linear' da Malha de Voronoi



$$\eta_a = f + k \cdot (\nabla \times \vec{V})$$



"o operador de rotacional (curl), usado para o termo de vorticidade absoluta na equação de momentum e para a velocidade perpendicular, u^\perp . Aqui, pelo Teorema de Stokes, somamos o fluxo em cada borda que cerca uma célula de Delaunay ($e \in EV(v)$), considerando o sinal através de $t_{e,v}$ e o comprimento da borda, d_e , e depois dividimos pela área da célula de Delaunay, A_v ."

"As coordenadas e comprimentos de interesse no modelo MPAS: x_i , o gerador da célula de Voronoi i , x_v , o centro circunscrito do triângulo v , x_e , é a e – esima (eth) interseção entre as bordas das células de grades de Voronoi e a células de grades de Delaunay duais, l_e , a distância entre os centros circunscritos adjacentes à borda e , e d_e , a distância entre os centros de massa de Voronoi adjacentes à borda e ."

$$k \cdot (\nabla \times F)_v = \frac{1}{A_v} \sum_{e \in EV(v)} t_{e,v} F_e d_e \quad (7.7)$$



Dinâmica – "Operadores na Força de Coriolis 'Não Linear' da Malha de Voronoi

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[\nabla_\zeta \left(\frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

$$[\eta k \times \vec{V}_H]_{e_i} = \sum_{j=1}^{n_{e_i}} \frac{1}{2} (\eta_{e_i} + \eta_{e_{i,j}}) w_{e_{i,j}} \rho_{e_{i,j}} u_{e_{i,j}}$$

"Exemplo: vorticidade absoluta em e_{13} "

$$\eta_a = f + k \cdot (\nabla \times \vec{V})$$

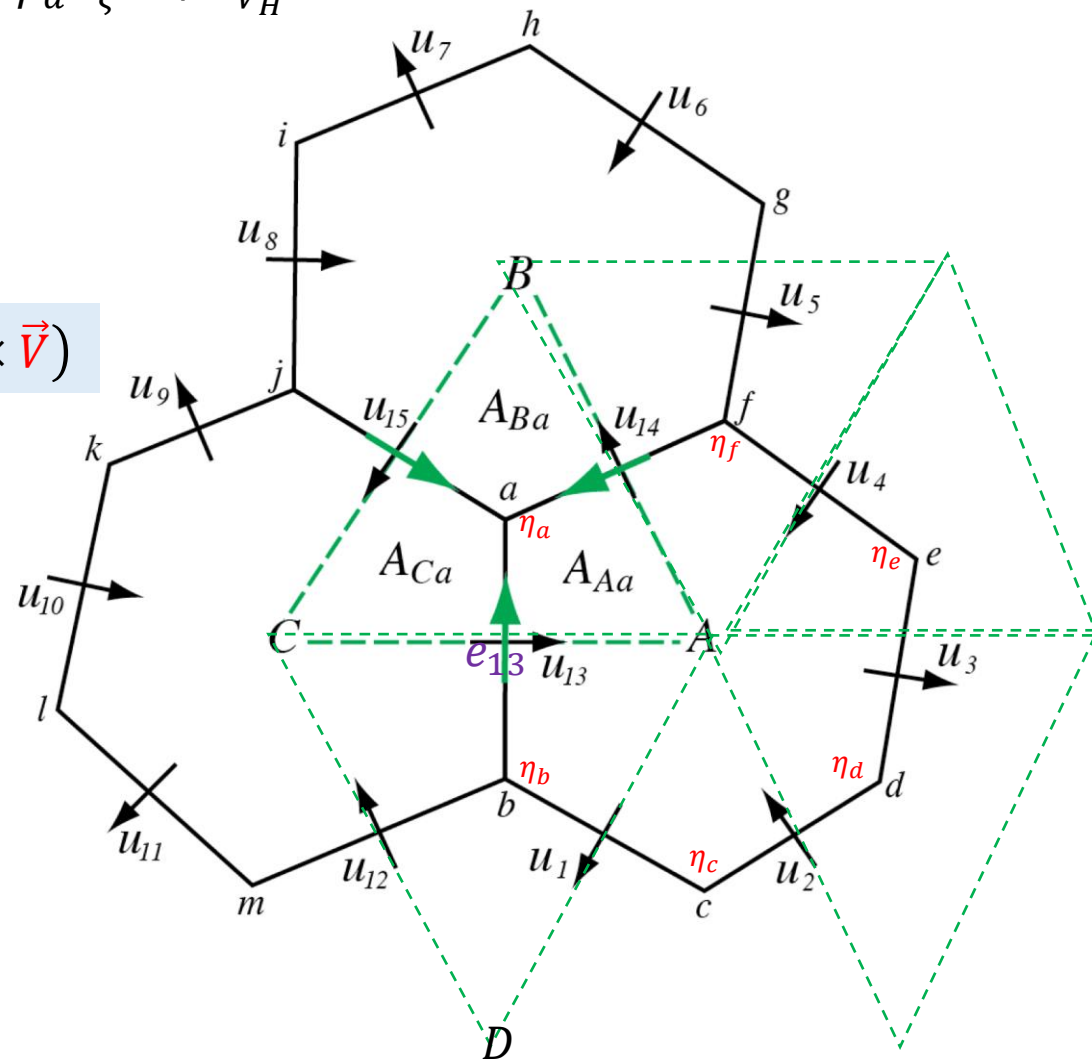
$$\eta_{13} = \frac{1}{2} (\eta_a + \eta_b)$$

$$k \cdot (\nabla \times F)_v = \frac{1}{A_v} \sum_{e \in EV(v)} t_{e,v} F_e d_e$$

"Exemplo: vorticidade absoluta no vértice a e b "

$$\eta_a = f_a + \frac{(u_{13} |\vec{CA}| + u_{14} |\vec{AB}| + u_{15} |\vec{BC}|)}{AREA(ABC)}$$

$$\eta_b = f_b + \frac{(u_{13} |\vec{CA}| + u_1 |\vec{AD}| + u_{12} |\vec{DC}|)}{AREA(ADC)}$$





Dinâmica – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \overline{\rho \vec{V}} = \frac{S}{\Delta x \Delta y \Delta z}$$

ψ é a razão de mistura escalar = $\frac{kg}{kg} = \text{adimensional}$

$$\frac{\partial \rho \psi}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{V}(\rho \psi) = 0$$

"Equação de Transporte, Forma Conservativa:"

$$\frac{\partial \rho \psi}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{V}(\rho \psi)$$

"Formulação de Volume Finito, Integração sobre a Célula:"

$$\iiint_V \left[\frac{\partial (\rho \psi)}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{V}(\rho \psi) \right] dV = \int_D \left[\frac{\partial \rho \psi}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{V}(\rho \psi) \right] dV$$

$$\vec{F} = \vec{V}(\rho \psi)$$

$$\text{teorema da divergência} \Rightarrow \iiint_V \nabla \cdot \vec{F} dV = \iint_{\partial V} \vec{F} \cdot n dS = \iint_S \vec{F} \cdot n dS = \frac{1}{A} \sum_i^{n_{surface}} \vec{F} \cdot n_i x_i y_i$$

Aplicando o teorema da divergência:

$$\frac{\partial \overline{\rho \psi}}{\partial t} = -\frac{1}{V} \int_{\Sigma} (\rho \psi) \vec{V} \cdot n d\sigma$$

Discretizando no espaço e no tempo

$$(\overline{\rho \psi})_i^{t+\Delta t} = (\overline{\rho \psi})_i^t - \Delta t \frac{1}{A_i} \sum_{n_{e_i}} d_{e_i} \overline{(\rho \vec{V} \cdot n_{e_i})} \psi$$

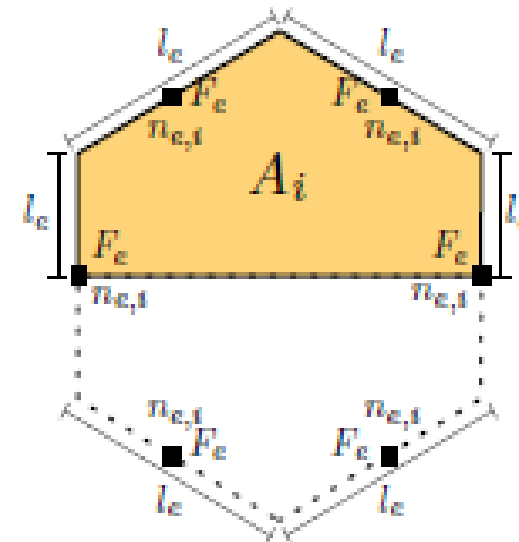
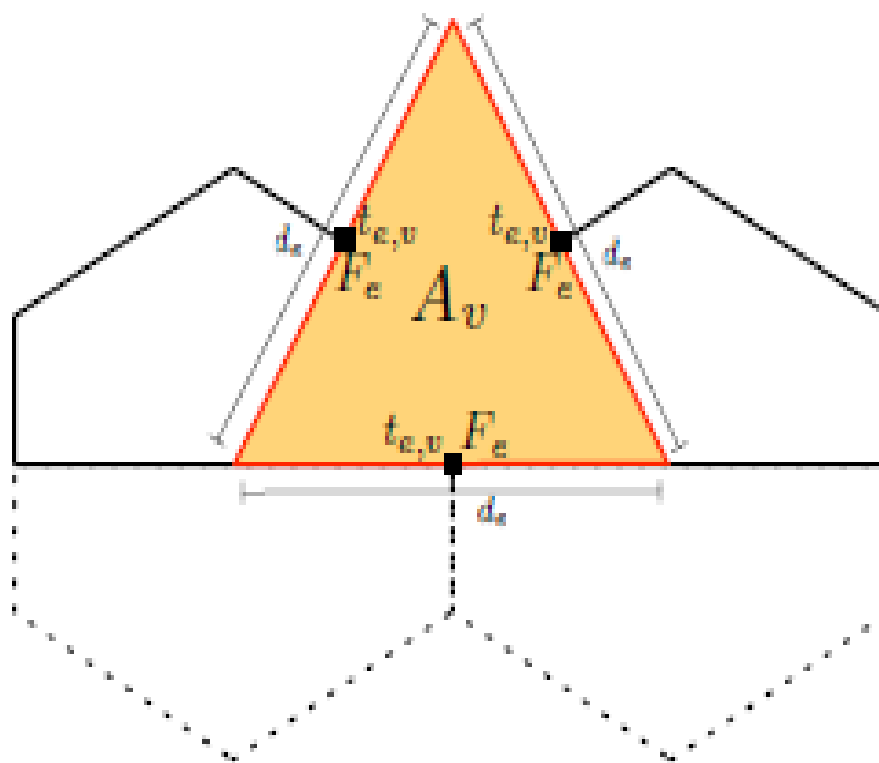
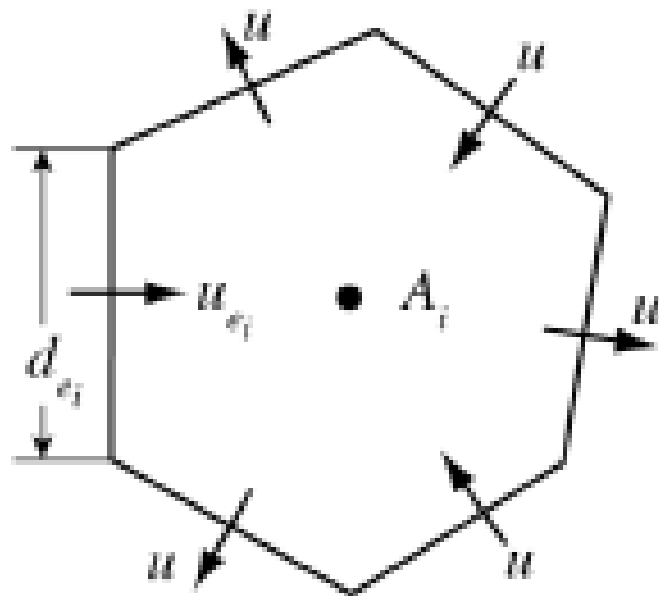
Dinâmica – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$(\nabla \cdot F)_i = \frac{1}{A_i} \sum_{e \in EC(i)} n_{e,i} F_e l_e$$



"O operador de divergência de velocidade é de segunda ordem de precisão para velocidades centradas nas bordas."



Dinâmica – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

Discretizando no espaço e no tempo

$$(\overline{\rho \psi})_i^{t+\Delta t} = (\overline{\rho \psi})_i^t - \Delta t \frac{1}{A_i} \sum_{n_{e_i}} d_{e_i} \overline{(\rho \vec{V} \cdot n_{e_i}) \psi}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(\theta)$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(0) = AB$$

$$(\overline{\rho \psi})_i^{t+\Delta t} = (\overline{\rho \psi})_i^t - \Delta t \frac{1}{A_i} \sum_{n_{e_i}} d_{e_i} \vec{F}(\rho u, \psi)$$

"No MPAS, o fluxo de massa é uma variável prognóstica na borda da célula. $\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$ "

"Como determinamos a razão de mistura escalar na borda da célula $\psi = \frac{kg}{kg}$?"



Dinâmica – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

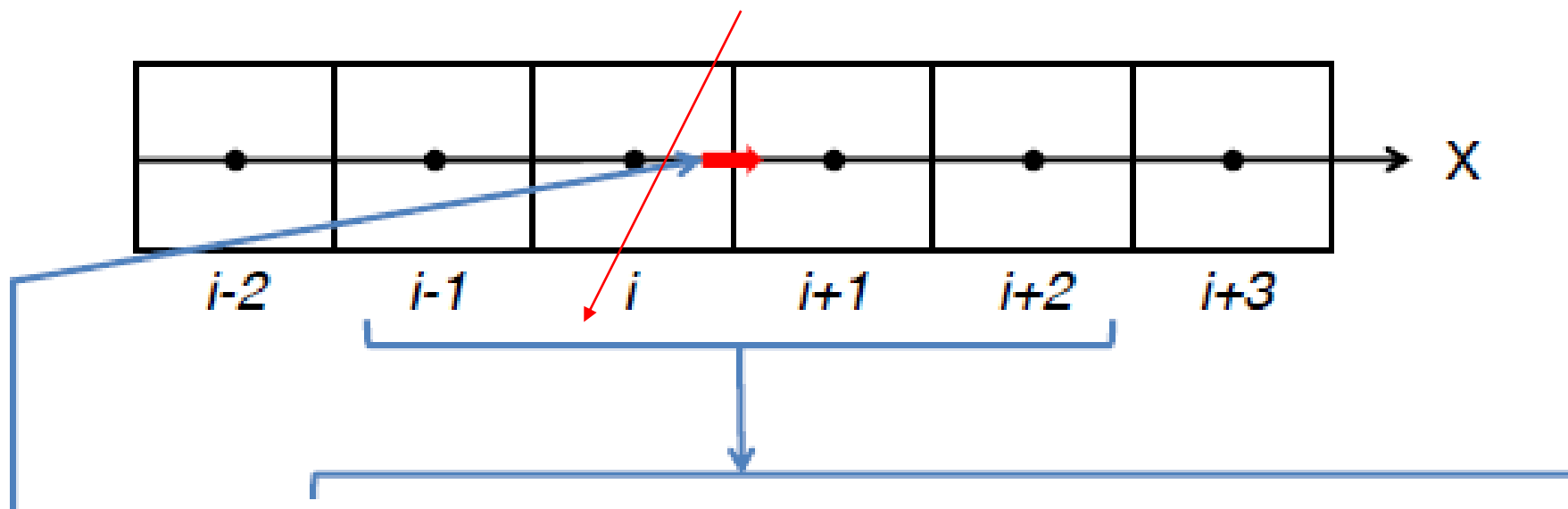
$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

"Como **definimos a razão de mistura na borda na malha não estruturada** do MPAS?"

Primeiro, **considere uma malha estruturada** - fluxos de 3^a e 4^a ordem do WRF."



$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \frac{1}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} + \delta_x^2 \psi_i) + \text{sign}(u) \frac{\beta}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} - \delta_x^2 \psi_i) \right]$$

(Hundsdoerfer et al, 1995; Van Leer, 1985)

" $\beta = 0$, quarta ordem; $\beta = 1$ terceira ordem"



Dinâmica – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m \cdot m^2}$$

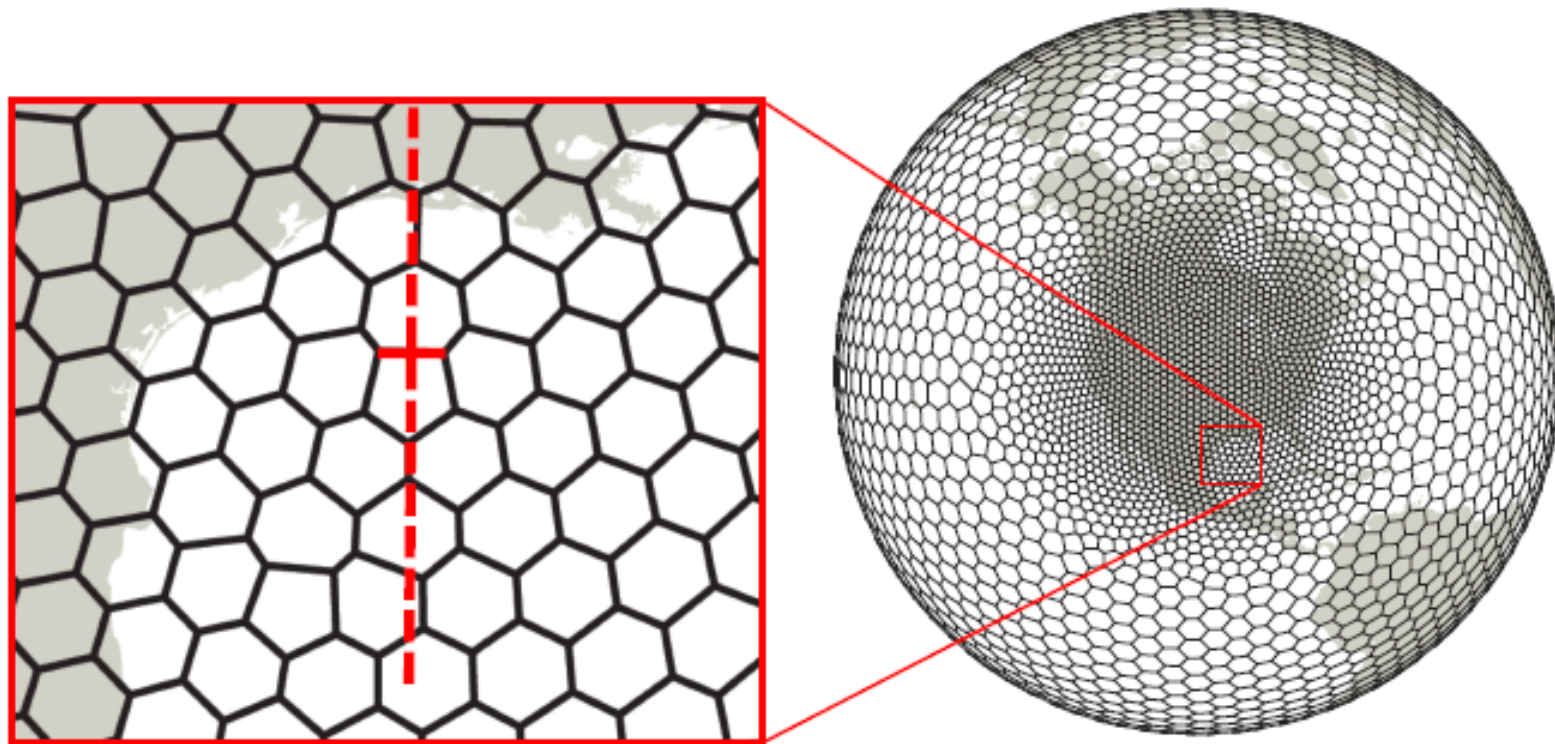
$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

"Fluxos polinômios de terceira e quarta ordem do WRF:"

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \frac{1}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} + \delta_x^2 \psi_i) + \text{sign}(u) \frac{\beta}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} - \delta_x^2 \psi_i) \right]$$

"As coordenadas não são contínuas no MPAS."





Dinâmica – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m \cdot m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

"Fluxos polinômios de terceira e quarta ordem do WRF:"

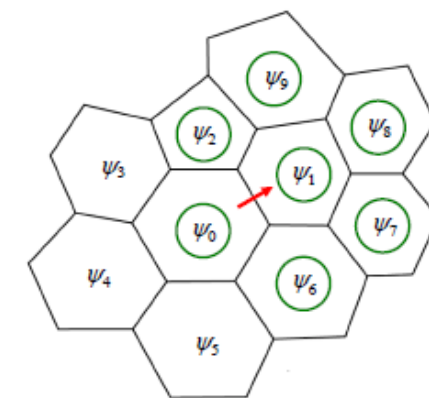
$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \frac{1}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} + \delta_x^2 \psi_i) + \text{sign}(u) \frac{\beta}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} - \delta_x^2 \psi_i) \right]$$

Onde $\delta_x^2 \psi_i = \psi_i - 2\psi_i + \psi_{i+1}$ e $\delta_x^2 \psi_{i+1} = \psi_{i+2} - 2\psi_{i+1} + \psi_{i+2}$ (Hundsdoerfer et al, 1995; Van Leer, 1985)

Reconhecendo $\delta_x^2 \psi_i = \Delta x^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + O(\Delta x^4)$ reformulamos o fluxo de 3ª e 4ª ordem como"

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left(\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$

"onde x é a direção normal à borda da célula e i e $i+1$ são os centros das células. Utiliza-se o polinômio de ajuste de mínimos quadrados para calcular as segundas derivadas."





Dinâmica – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

"Fluxos polinômios de terceira e quarta ordem do WRF:"

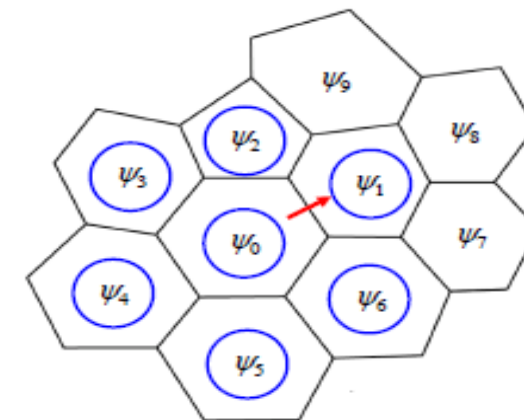
$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \frac{1}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} + \delta_x^2 \psi_i) + \text{sign}(u) \frac{\beta}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} - \delta_x^2 \psi_i) \right]$$

Onde $\delta_x^2 \psi_i = \psi_i - 2\psi_i + \psi_{i+1}$ e $\delta_x^2 \psi_{i+1} = \psi_{i+2} - 2\psi_{i+1} + \psi_{i+2}$ (Hundsdoerfer et al, 1995; Van Leer, 1985)

Reconhecendo $\delta_x^2 \psi_i = \Delta x^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + O(\Delta x^4)$ **"reformulamos o fluxo de 3ª e 4ª ordem como"**

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left(\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$

"onde x é a direção normal à borda da célula e i e $i+1$ são os centros das células. Utilizamos o polinômio de ajuste de mínimos quadrados para calcular as segundas derivadas."





Dinâmica – "Divergência de fluxo, transporte e integração temporal de Runge-Kutta"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

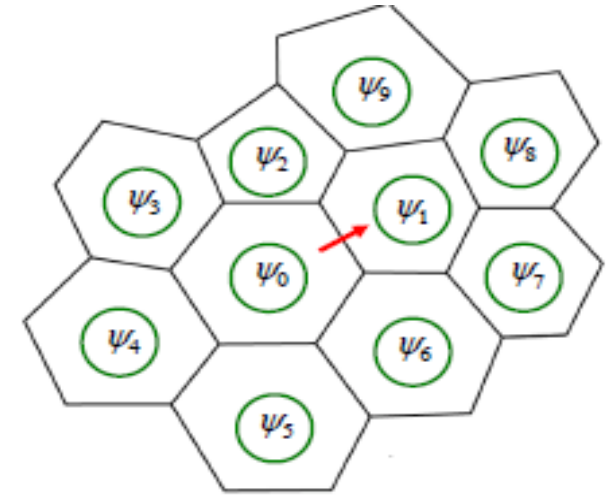
$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

"Equação de transporte escalar para a célula i:"

$$\frac{(\overline{\rho \psi})_i^{t+\Delta t} - (\overline{\rho \psi})_i^t}{\Delta t} = L(\vec{V}, \rho, \psi) = -\frac{1}{A_i} \sum_{n_{ei}} d_{ei} \overline{(\rho \vec{V} \cdot n_{ei})} \psi$$

1. O **valor de fluxo escalar na borda** ψ é a **soma ponderada dos valores das células das células que compartilham a borda e todos os seus vizinhos.**
2. Um **fluxo de borda individual** é usado para atualizar as duas células que compartilham a borda.
3. São necessárias **três avaliações (iterações)** de fluxo de borda e atualizações de célula para **completar o passo de tempo de Runge-Kutta.**
4. Os **pesos são pré-calculados** e armazenados para uso durante a integração.



$$(\overline{\rho \psi})_i^* = (\overline{\rho \psi})_i^t = \frac{\Delta t}{3} L(\vec{V}, \rho, \psi^t)$$

$$(\overline{\rho \psi})_i^{**} = (\overline{\rho \psi})_i^t = \frac{\Delta t}{2} L(\vec{V}, \rho, \psi^*)$$

$$(\overline{\rho \psi})_i^{t+\Delta t} = (\overline{\rho \psi})_i^t = \frac{\Delta t}{2} L(\vec{V}, \rho, \psi^{**})$$



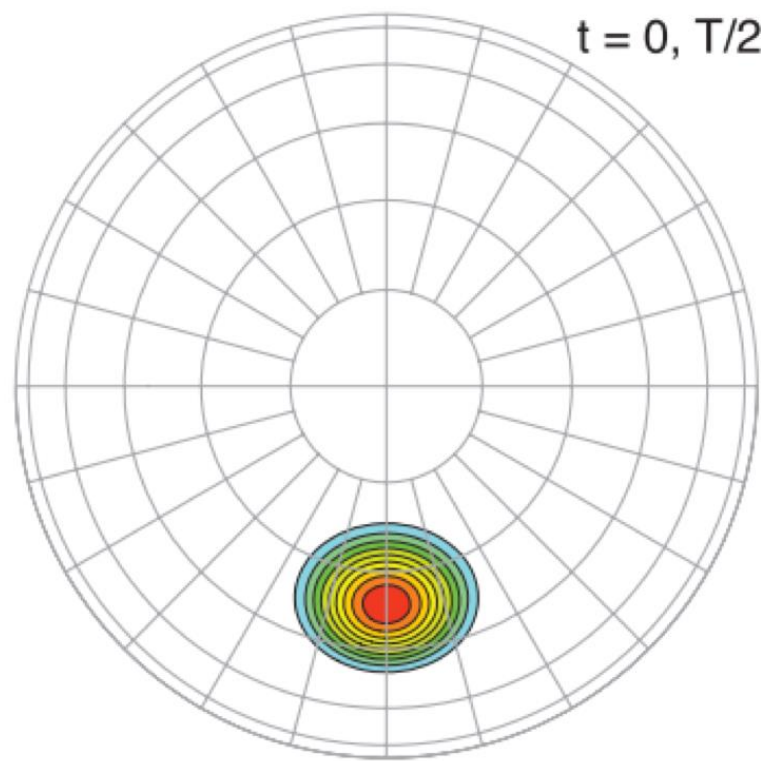
Dinâmica – "Divergência de fluxo, transporte e Conservação "

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m \cdot m^2}$$

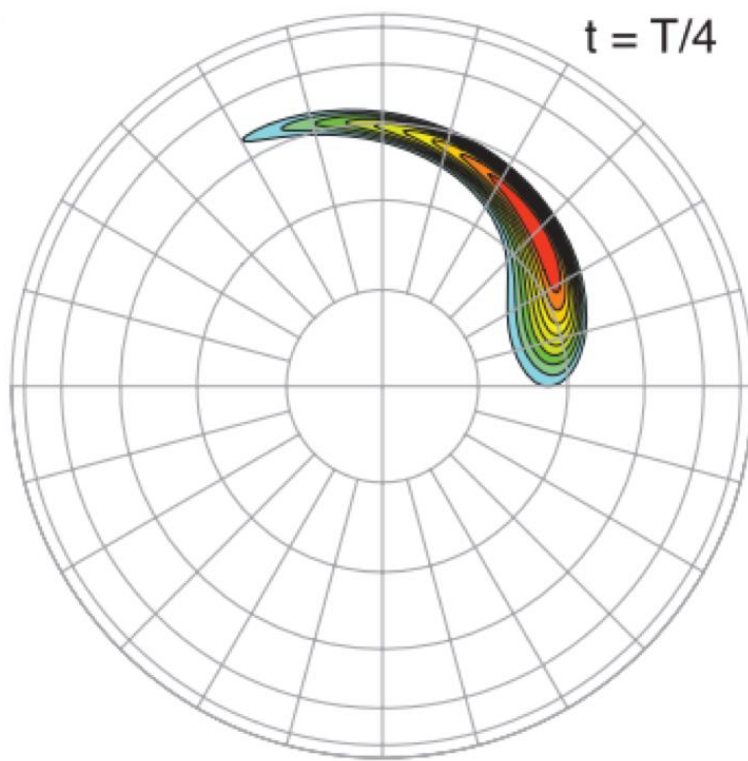
$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

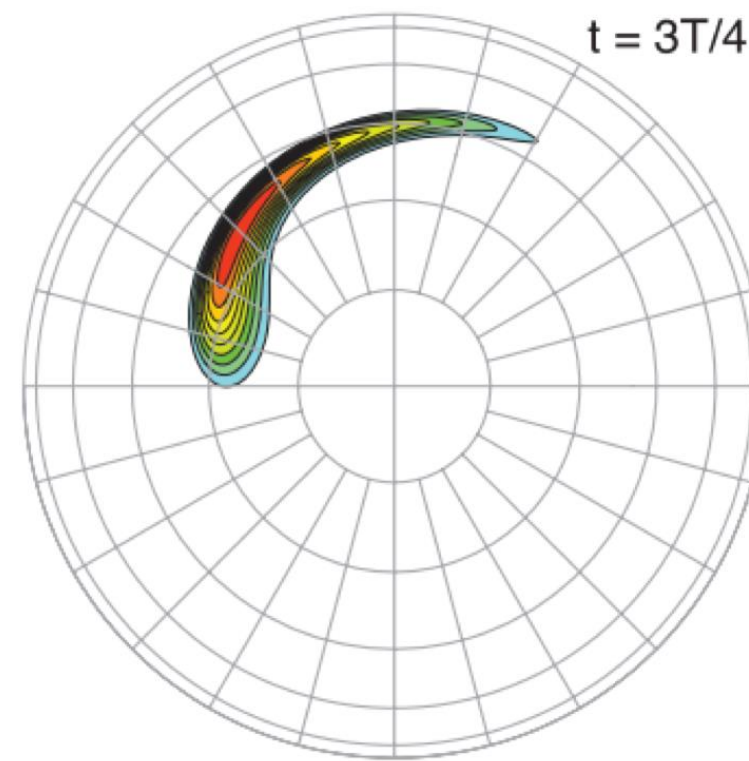
$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + sign(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left(\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$



t = 0, T/2, T



t = T/4



t = 3T/4

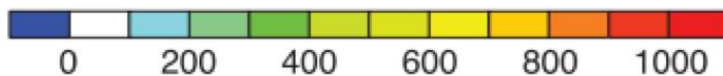


Fig. 5. Evolution for the Ekman-Drazin (1950) test case, but at the low level, from Ekman level

Dinâmica – "Divergência de fluxo, transporte e Conservação "

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m \cdot m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left(\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$

Blossey and Durran Test Case

3rd order scheme, $\beta=1$

3rd order scheme, $\beta=0.5$

3rd order scheme, $\beta=0.25$

4th order scheme, $\beta=0$

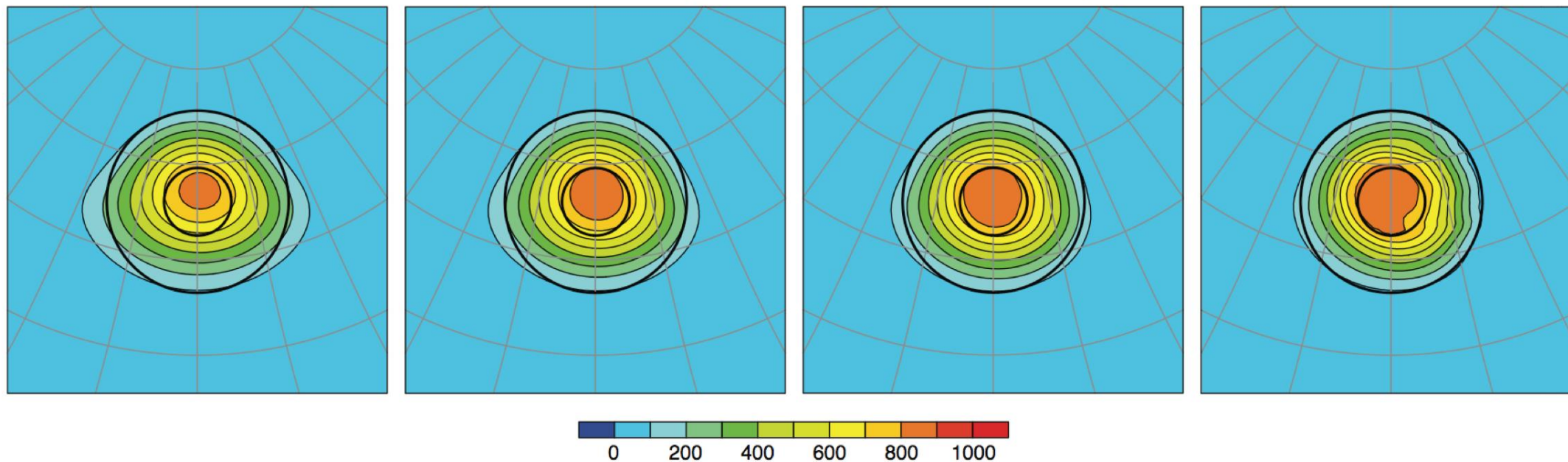


FIG. 7. Deformational flow test case results at time T using (11) with different values of the filter parameter β . The simulations were performed on the 40962-cell grid.



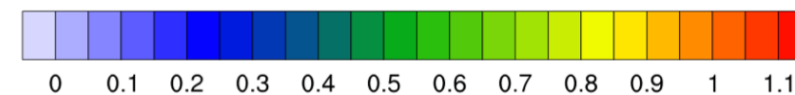
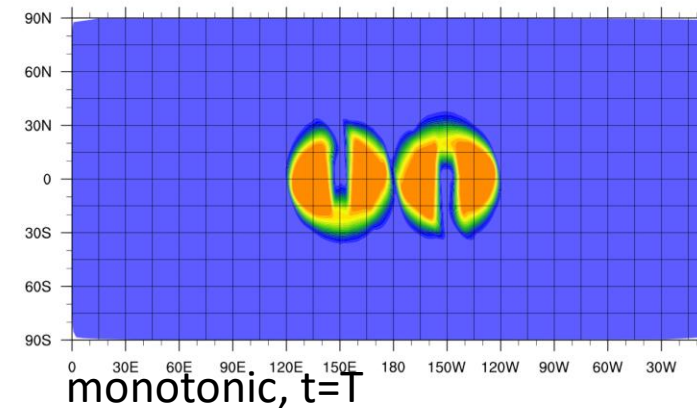
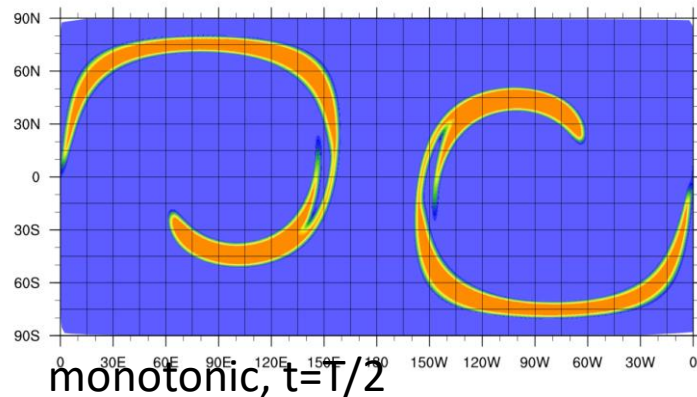
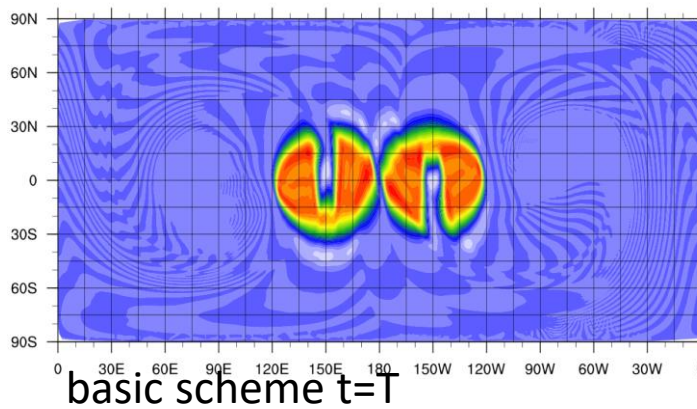
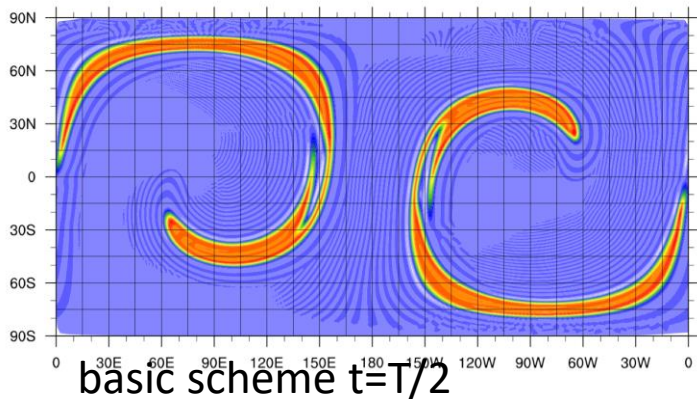
Dinâmica – "Divergência de fluxo, transporte e Conservação "

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + sign(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left(\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$





Dinâmica – "Configurando a dinâmica"

(namelist.atmosphere)

```
&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_del4u_div_factor = 10.
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_epssm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5
```

Time and time-steps

&nhyd_model

```
config_dt = 90 ← Timestep in seconds
config_start_time = "2010-10-23_00:00:00"
config_run_duration = "5_00:00:00"
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3 ←
```

Dynamics substeps per split step

Number of acoustic steps per timestep



Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

Default time integration

Call physics

Do dynamics_split_steps

Do rk3_step = 1, 3

compute large-time-step tendency

Do acoustic_steps

update u

update rho, theta and w

End acoustic_steps

End rk3_step

End dynamics_split_steps

Do scalar_rk3_step = 1, 3

scalar RK3 transport

End scalar_rk3_step

Call microphysics

Default configuration

config_split_dynamics_transport = true

config_dynamics_split_steps = 3

config_number_of_sub_steps = 2
(acoustic_steps)

$$\Delta t (\text{dynamics}) = \frac{\text{config_dt}}{\text{config_dynamics_split_steps}}$$

$$\Delta t (\text{acoustic}) = \frac{\Delta t (\text{dynamics})}{\text{config_number_of_sub_steps}}$$

$$\Delta t (\text{scalar transport}) = \text{config_dt}$$



Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(*namelist.atmosphere*)

```
&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_del4u_div_factor = 10.
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_epssm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5
```

Time and time-steps

&nhyd_model

config_dt = 90 ← *Timestep in seconds*

Similar to WRF, the model timestep (in seconds) should be initially set to be 6 times the finest nominal mesh spacing in km. For example – 15 km fine-mesh spacing would use a 90 second timestep.



Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(*namelist.atmosphere*)

```
&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_del4u_div_factor = 10.
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_epssm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5
```

Time and time-steps

&nhyd_model

config_epssm = 0.1

time-offcentering of the vertically implicit acoustic and gravity-wave integration.

config_smdiv = 0.1

3D divergence damping

config_apvm_upwinding = 0.5

Anticipated Potential Vorticity Method (APVM): upwind-biased estimate of edge PV; provides an enstrophy sink.



Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(*namelist.atmosphere*)

```

&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_delt4u_div_factor = 10.
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_eps_sm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5

```

Transport

&nhyd_model

```

config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_positive_definite = .false.
config_monotonic = .true.
config_coef_3rd_order = 0.25

```

*Advection
scheme
order
(2, 3, or 4)*

*PD/Mono options
for scalar
transport*

*Upwind coefficient (0 <-> 1),
>0 increases damping*



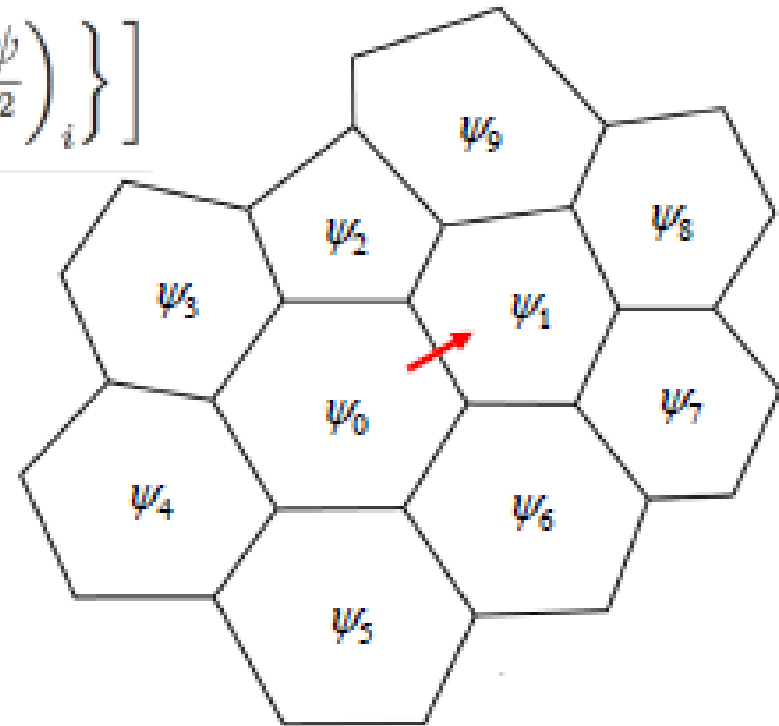
Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

$$F(u, \psi)_{i+1/2} = u_{i+1/2} \left[\frac{1}{2} (\psi_{i+1} + \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)_i \right\} \right. \\ \left. + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \beta \left\{ \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)_i \right\} \right]$$

config_coef_3rd_order
(default = 0.25)

4th-order scheme = 0.

WRF scheme = 1.0





Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(*namelist.atmosphere*)

```

&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_del4u_div_factor = 10
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_epssm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5

```

Scale viscosities,
hyperviscosities
with local
mesh spacing

Dissipation

&nhyd_model

```

config_h_mom_eddy_visc2 = 0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0
config_horiz_mixing = "2d_smagorinsky"
config_len_disp = 15000.
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_h_ScaleWithMesh = .true.
config_del4u_div_factor = 10.

```

fixed
viscosity
 m^2s^{-1}

Fixed hyper-
viscosity
 m^4s^{-1}

Alternately
"2d_fixed"

Δx_{fine}

4th order background
filter coef, used with
2d_smagorinsky

$$U_4 (m^4/s) = config_len_disp^3 \times config_visc4_2dsmag$$



Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(namelist.atmosphere)

```
&damping
  config_zd = 22000.0
  config_xnutr = 0.2
/
&physics
  config_sst_update = false
  config_sstdiurn_update = false
  config_deepsoiltemp_update = false
  config_radtlw_interval = '00:30:00'
  config_radtsw_interval = '00:30:00'
  config_bucket_update = 'none'
  config_physics_suite = 'mesoscale_reference'
```

Gravity-wave absorbing layer

&damping

`config_zd = 22000.`

Bottom of the gravity-wave absorbing layer (meters)

Note: WRF defines this parameter as the depth of the layer.

`config_xnutr = 0.2`

Gravity-wave absorbing layer damping coefficient



Opções de Parametrização do Modelo MONAN



```
/MPAS-Model/src/core_atmosphere:
```

```
build_options.mk  inc          mpas_atm_core_interface.F  physics
diagnostics      Makefile      mpas_atm_dimensions.F     Registry.xml
dynamics         mpas_atm_core.F  mpas_atm_threading.F     utils
```

```
/MPAS-Model/src/core_atmosphere/Makefile:
```

```
#
# To build a dycore-only MPAS-Atmosphere model, comment-out or delete
# the definition of PHYSICS, below
#
#PHYSICS=-DDO_PHYSICS
PHYSICS =
```

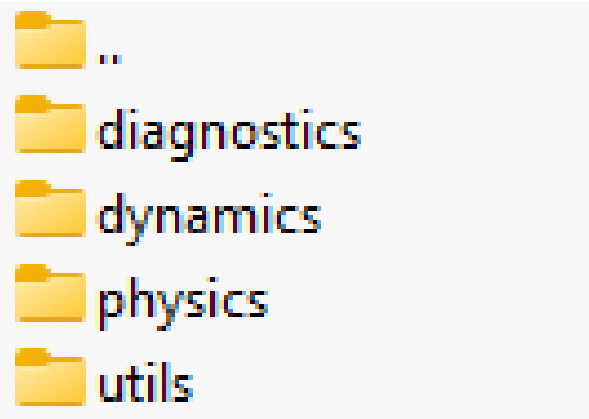
```
ifdef PHYSICS
    PHYSCORE = physcore
    PHYS_OBJS = libphys/*.o
```

"Essa opção **PHYSICS** permite adicionar um pacote de física completamente separado das parametrizações de física atualmente disponíveis."

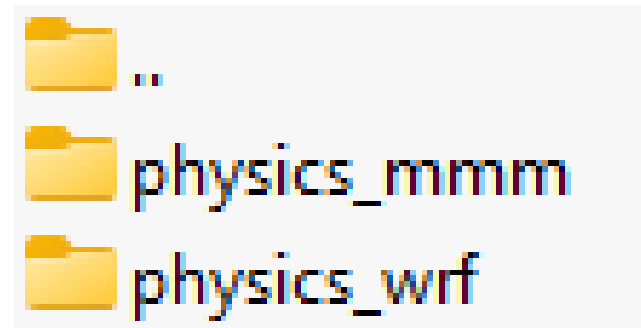


[Release MPAS Version 8.0.1 · MPAS-Dev/MPAS-Model \(github.com\)](#)

Name



Name





- Todas as opções de física estão disponíveis em `./src/core_atmosphere/Registry.xml` no registro da lista de nomes "**physics**" e são lidas no **namelist.atmosphere**.

```
<nml_record name="physics" in_defaults="true">
```

- No **Registry.xml**, cada opção de física tem um **valor padrão definido** para previsões genéricas em **escala global**. Por exemplo:
- As opções de física são modificadas e adicionadas no **namelist.atmosphere** no registro da lista de nomes "&physics":
- Note que o **modelo de atmosfera será executado** se **você não especificar nenhuma opção de física**. **Ele simplesmente usará as opções padrão definidas em Registry.xml**.
- Em termos de parametrizações de física, o MPAS utiliza o conceito de conjunto de física.
- Algumas parametrizações não fazem parte de um conjunto de física, mas podem ser usadas em um conjunto.



- No MPAS, existem dois conjuntos separados:
 1. o conjunto **mesoscale_reference**, mais adequado para resolução horizontal em **mesoescala (> 20 km)** e simulações de longo prazo.
 2. o conjunto **convection_permitting**, mais adequado para **alta resolução espacial**, onde os movimentos convectivos são explicitamente resolvidos, pelo menos em parte da malha.



Parametrizações físicas utilizadas para modelagem de mesoescala

Table 6.1: The set of parameterization schemes used by the ‘mesoscale_reference’ physics suite.

Parameterization	Scheme
Convection	New Tiedtke
Microphysics	WSM6
Land surface	Noah
Boundary layer	YSU
Surface layer	Monin-Obukhov
Radiation, LW	RRTMG
Radiation, SW	RRTMG
Cloud fraction for radiation	Xu-Randall
Gravity wave drag by orography	YSU



Parametrizações físicas (convection_permitting) utilizadas para modelagem

Table 6.2: The set of parameterization schemes used by the ‘convection_permitting’ physics suite.

Parameterization	Scheme
Convection	Grell-Freitas
Microphysics	Thompson (non-aerosol aware)
Land surface	Noah
Boundary layer	MYNN
Surface layer	MYNN
Radiation, LW	RRTMG
Radiation, SW	RRTMG
Cloud fraction for radiation	Xu-Randall
Gravity wave drag by orography	YSU



Table 6.3: Possible options for individual physics parameterizations. Namelist variables should be added to the &physics namelist record.

Parameterization	Namelist variable	Possible options	Details
Convection	<code>config_convection_scheme</code>	<code>cu_tiedtke</code>	Tiedtke (WRF 3.8.1)
		<code>cu_ntiedtke</code>	New Tiedtke (WRF 4.5)
		<code>cu_grell_freitas</code>	Modified version of scale-aware Grell-Freitas (WRF 3.6.1)
		<code>cu_kain_fritsch</code>	Kain-Fritsch (WRF 3.2.1)
Microphysics	<code>config_microp_scheme</code>	<code>mp_wsm6</code>	WSM 6-class (WRF 4.5)
		<code>mp_thompson</code>	Thompson non-aerosol aware (WRF 3.8.1)
		<code>mp_kessler</code>	Kessler
Land surface	<code>config_lsm_scheme</code>	<code>noah</code>	Noah (WRF 4.5)
Boundary layer	<code>config_pbl_scheme</code>	<code>bl_ySU</code>	YSU (WRF 4.5)
		<code>bl_mynn</code>	MYNN (WRF 3.6.1)
Surface layer	<code>config_sfclayer_scheme</code>	<code>sf_monin_obukhov</code>	Monin-Obukhov (WRF 4.5)
		<code>sf_mynn</code>	MYNN (WRF 3.6.1)
Radiation, LW	<code>config_radt_lw_scheme</code>	<code>rrtmg_lw</code>	RRTMG (WRF 3.8.1)
		<code>cam_lw</code>	CAM (WRF 3.3.1)
Radiation, SW	<code>config_radt_sw_scheme</code>	<code>rrtmg_sw</code>	RRTMG (WRF 3.8.1)
		<code>cam_sw</code>	CAM (WRF 3.3.1)
Cloud fraction for radiation	<code>config_radt_cld_scheme</code>	<code>cld_fraction</code>	Xu and Randall (1996)
		<code>cld_incidence</code>	0/1 cloud fraction depending on $q_c + q_i$
Gravity wave drag by orography	<code>config_gwdo_scheme</code>	<code>bl_ySU_gwdo</code>	YSU (WRF 4.5)