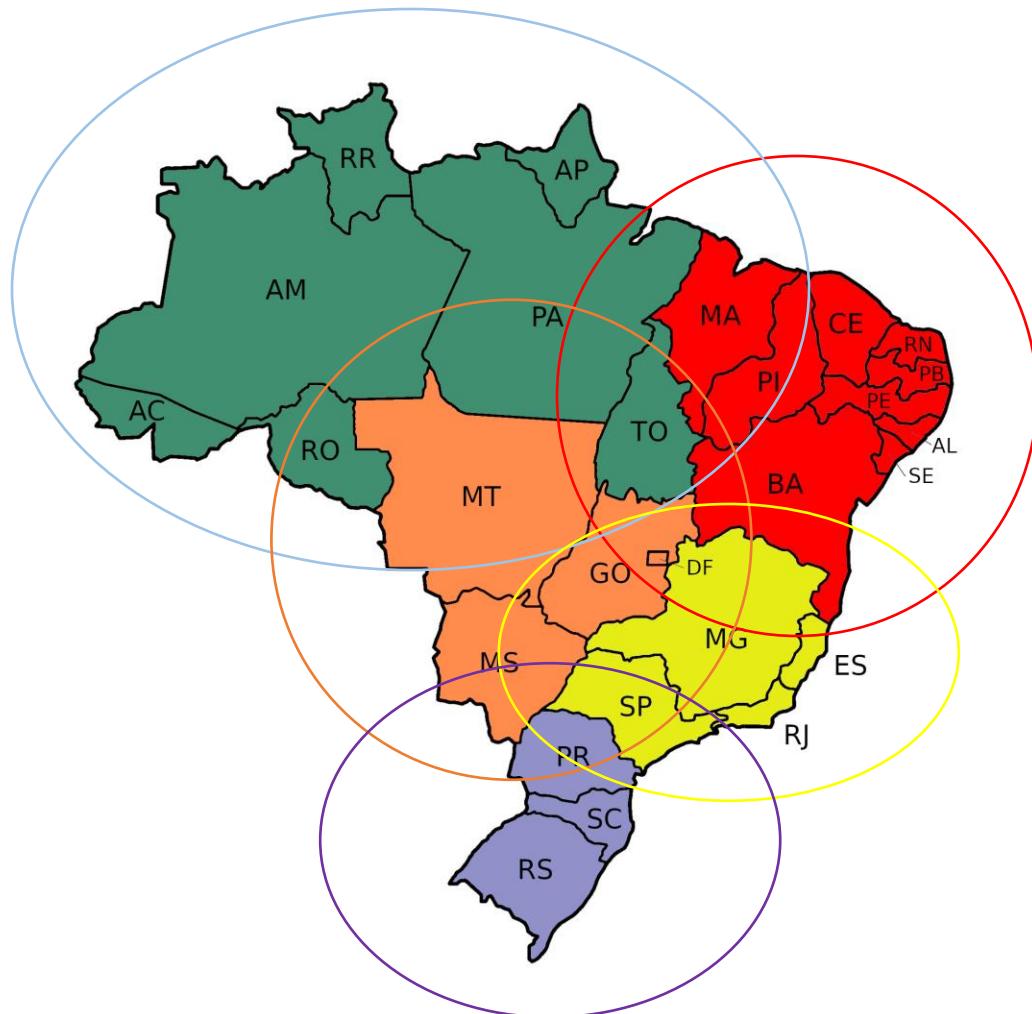




Running Regional MPAS



Running Regional MPAS:
Preparing limited-area meshes and
lateral boundary conditions
Wei Wang and Michael Duda
NCAR/MMM



Porque Investir na configuração do MONAN-Regional?

- **Disponibilidade Computacional Restrita.**
- **Cada região tem necessidades de PNT individuais.**
- **Processos Físicos de diferentes escalas atuam de forma diferente em cada região**
- **Colaboração na troca de informação sobre o skill do modelo MONAN para cada região.**
- **Colaboração entre os centros de meteorologia, universidades, empresas, etc.**



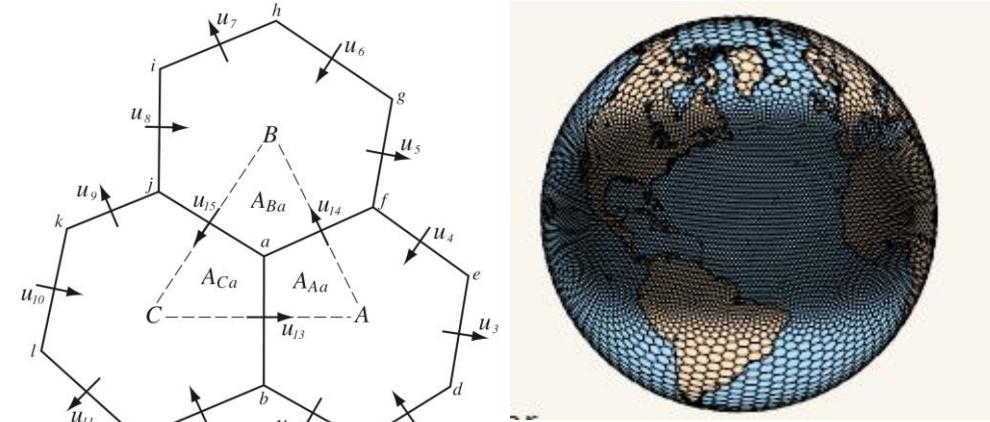
MPAS-Atmosphere



"MPAS-Atmosphere resolve as equações não-hidrostáticas totalmente compressíveis

"Malhas de Voronoi centroidais esféricas não estruturadas

- Principalmente hexágonos, alguns pentâgonos e células de 7 lados
- Centros das células estão no centro de massa da célula (centroidal).
- Bordas das células bissectam as linhas que conectam os centros das células; perpendicular.



" Resolução variável – Malha de Voronoi centroidais esféricas não estruturadas

- Resolução uniforme – Malha icosaédrica tradicional.

Esquema de integração temporal/estado_da_arte_fisicas semelhante ao Advanced Research WRF: Runge-Kutta explícito dividido (3^a ordem)"

- Equações prognósticas para variáveis acopladas.
- Coordenada de altura generalizada."

Usar o modelo MONAN com sua funcionalidades e fornecer aos centros e universidade um pacote com as grades/códigos/condição inicial e de contorno para realizarem as suas simulações

"Global MPAS integração no tempo"

Call physics

```
Do dynamics_split_steps
  Do rk3_step = 1, 3
    compute large-time-step tendency
  Do acoustic_steps
    update u,v
    update rho
    update theta
    update 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



Regional MPAS integração no tempo"

Call physics

```
Do dynamics_split_steps
  Do rk3_step = 1, 3
    compute large-time-step tendency
    adjust boundary tendencies
  Do acoustic_steps
    update u
    update rho, theta and w
  End acoustic_steps
  adjust boundary velocities (u and w)
  End rk3_step
End dynamics_split_steps

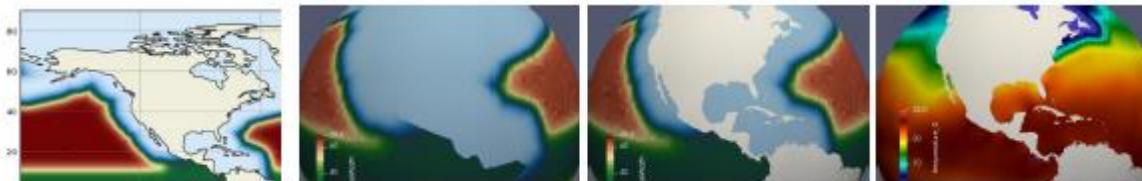
Do scalar_rk3_step = 1, 3
  scalar RK3 transport
  adjust scalar boundary tendencies
End scalar_rk3_step
```

Call microphysics

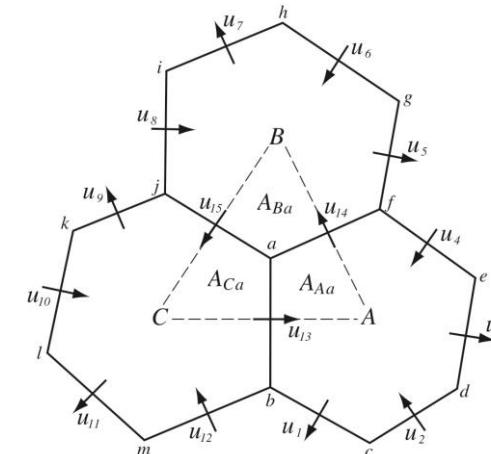
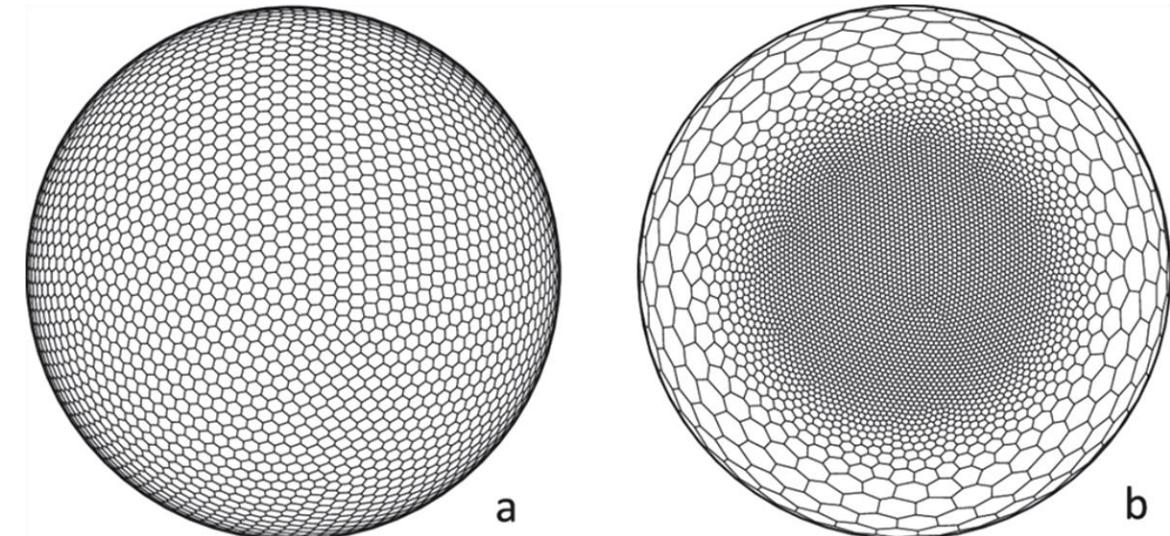
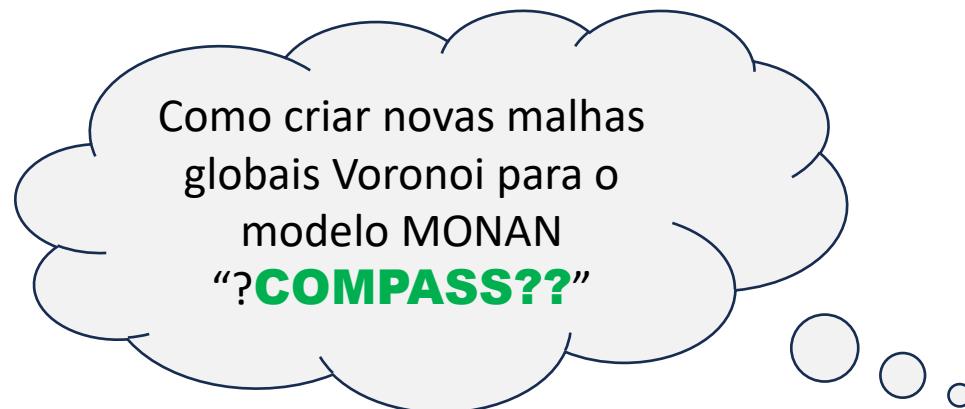


"MPAS-Atmosphere mesh voronoi"

Mesh Generation and Design in COMPASS



https://e3sm.org/wp-content/uploads/2020/06/MPAS_Mesh_Generation_Petersen_200520.pdf





Running Regional MPAS



Diagrama de Fluxo do MPAS Global

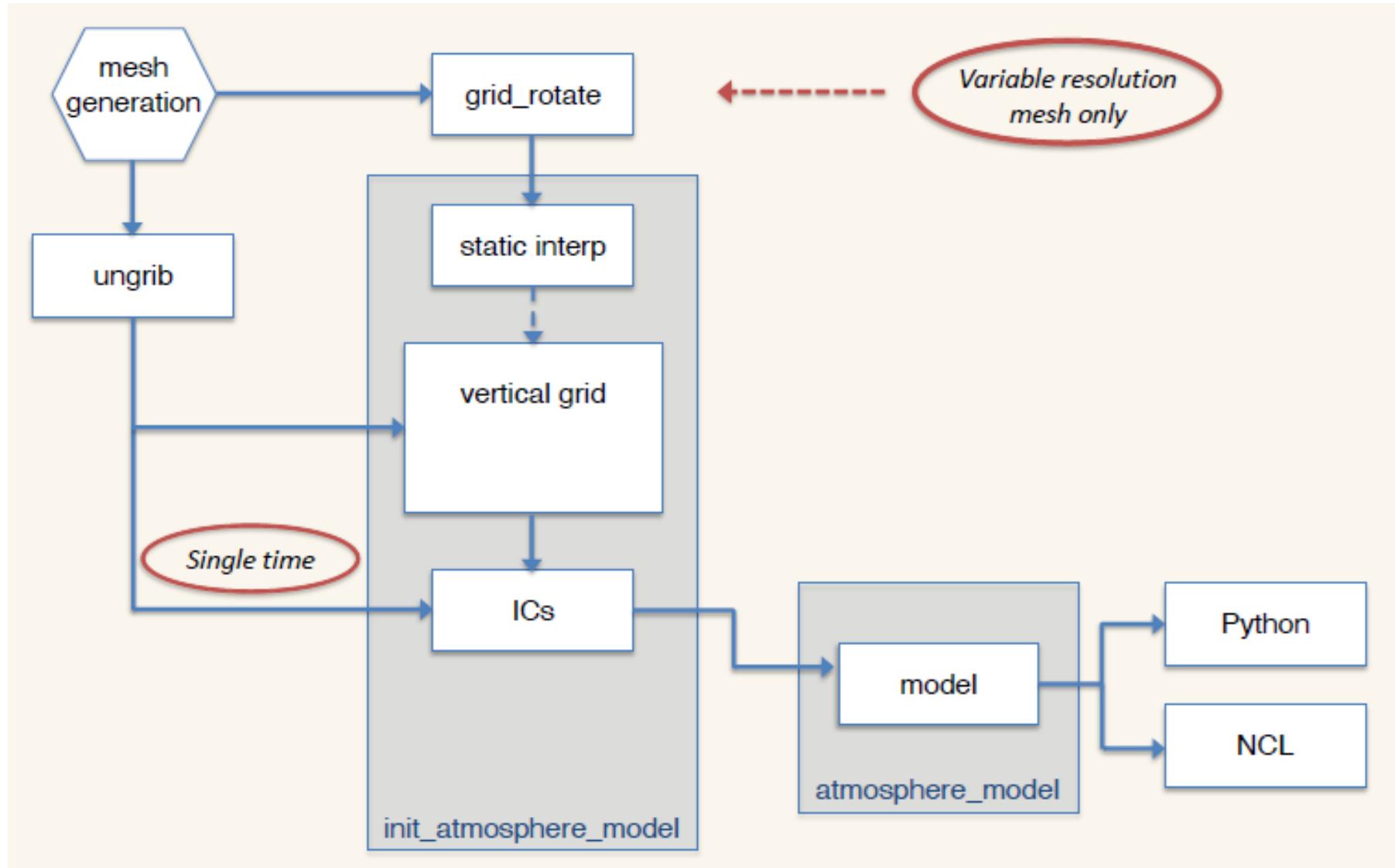
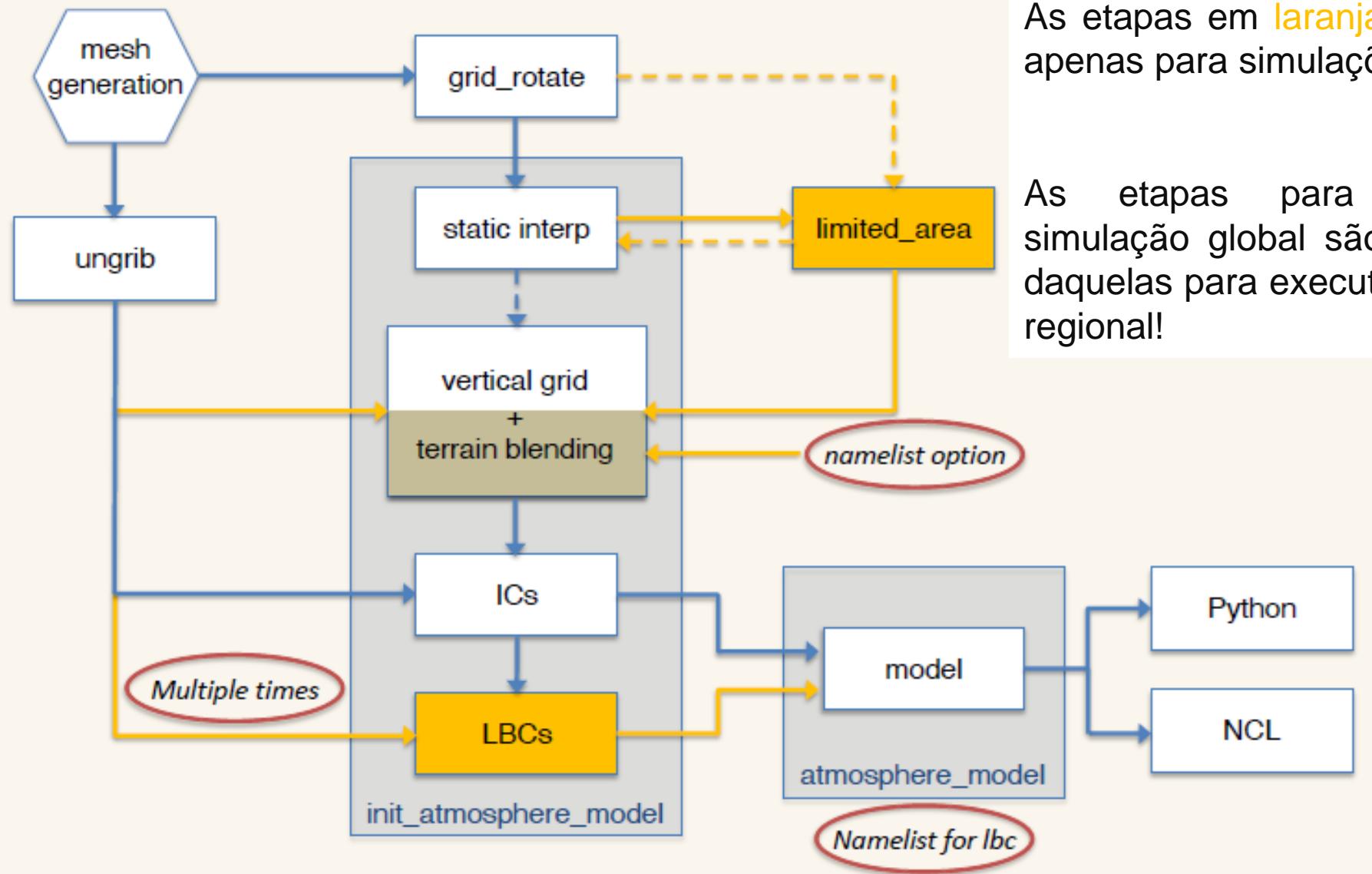




Diagrama de Fluxo do MPAS Regional: Global vs. Regional



As etapas em **laranja** são necessárias apenas para simulações regionais.

As etapas para executar uma simulação global são um subconjunto daquelas para executar uma simulação regional!



Running Regional MPAS

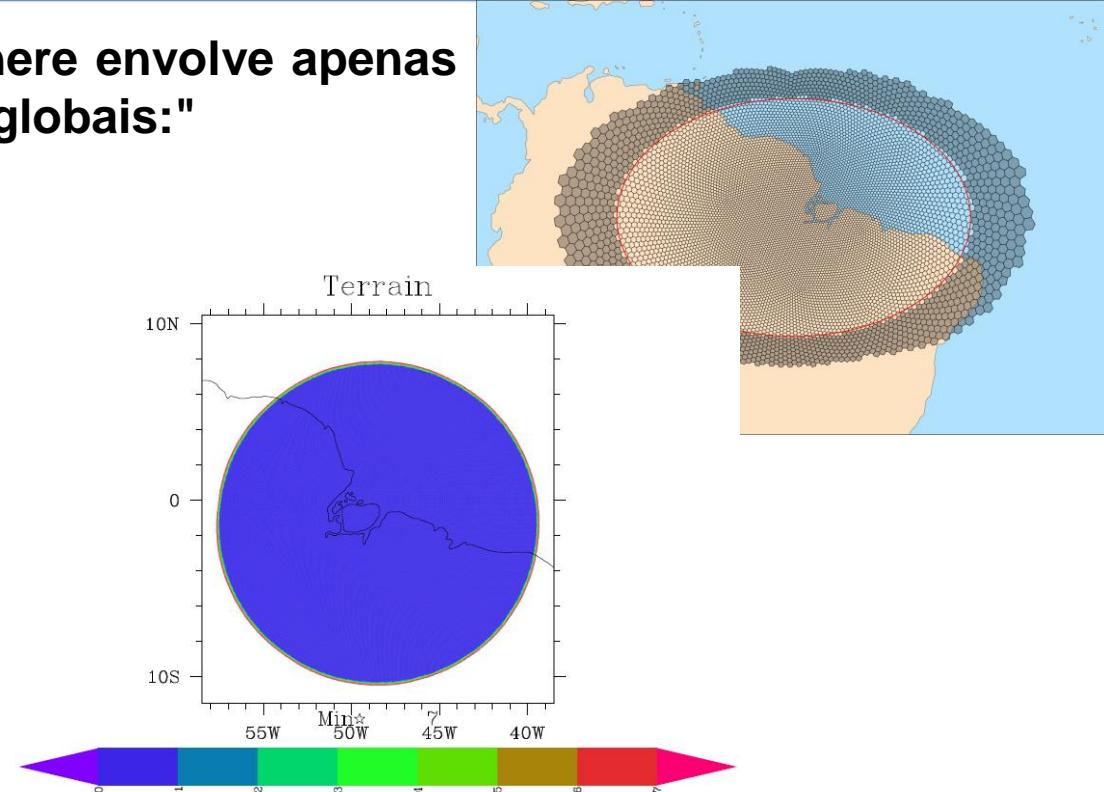


"Executar simulações de área limitada com o MPAS-Atmosphere envolve apenas pequenas variações no processo de execução de simulações globais:"

- Um domínio de área limitada deve ser definido, e uma malha deve ser criada para esse domínio.

• Além das condições iniciais (ICs), as condições de contorno lateral (LBCs) devem ser geradas com o núcleo init_atmosphere.

• As LBCs devem ser habilitadas ao executar a atmosfera.



Acima: Uma malha MPAS de área limitada com resolução variável. As células da zona de relaxamento e da zona especificada estão sombreadas em cinza.



Running Regional MPAS



Como Criar um Domínio Regional



Running Regional MPAS



MPAS Limited-Area - v2.1

MPAS Limited-Area é uma ferramenta Python que pega uma grade global do MPAS e produz uma grade de área regional dada a especificação da região.

As regiões podem ser especificadas de várias formas diferentes, tornando a área limitada extensível e flexível.



Running Regional MPAS



Download e Instalação

**Para baixar este script de linha de comando, clone este repositório no local de sua escolha.
Para instalá-lo, adicione o diretório base à variável de ambiente do seu path:**

```
$ git clone git@github.com:MiCurry/MPAS-Limited-Area.git  
$ setenv PATH ${PATH}:/path/to/MPAS-Limited-Area
```

Em seguida, execute o script de linha de comando `create_region`:

```
$ # Running the script with no arguments will produce a usage output  
Usage: create_region [-h] [-v VERBOSE] points grid create_region  
create_region: error: the following arguments are required: points, grid
```



Running Regional MPAS



Download e Instalação

Nota: Pode ser necessário instalar as dependências deste programa se elas ainda não tiverem sido instaladas por você ou pelo seu administrador. Você pode instalar todas as dependências deste repositório executando.

```
pip install -r requirements.txt.
```

Isso instalará todas as dependências necessárias para executar este programa.

Também pode ser necessário atualizar o '**shebang**' do Python (`#!/usr/bin/env python`) no topo do script `create_region`, dependendo do seu ambiente Python.

Por exemplo, se você tiver várias instalações do Python, pode ser necessário especificar qual Python usar dentro do **shebang**, ou seja:

```
#!/user/bin/env python3
```

ou

```
#!/user/bin/env python2
```

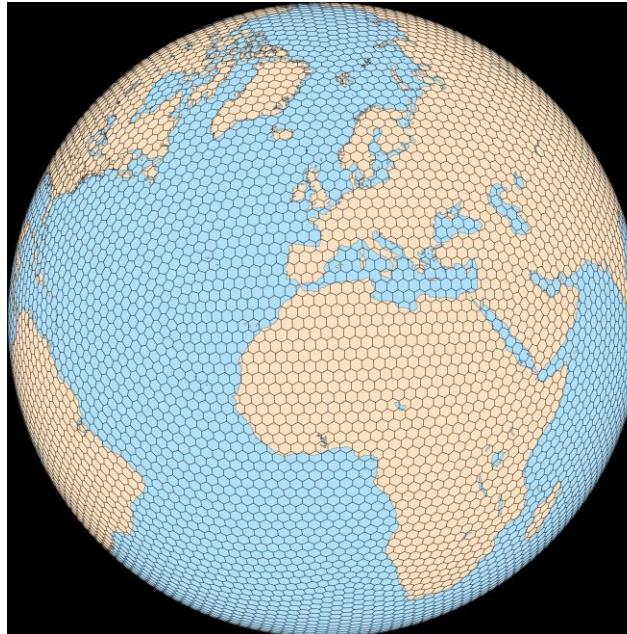


Criando malhas de área limitada

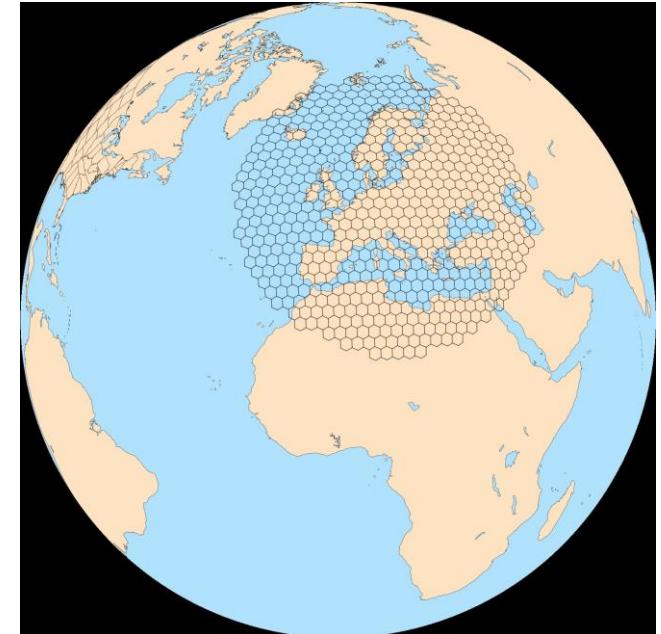


Como mencionado anteriormente, gerar novas malhas CVT pode ser bastante demorado.

- Atualmente, as malhas de área limitada são criadas por meio da subseção de malhas existentes com a ferramenta MPAS-Limited-Area



Cada célula na malha de área limitada coincide exatamente com uma célula na malha "pai".



- O ponto chave é que a subseção da malha é computacionalmente trivial, enquanto gerar uma nova malha não é!

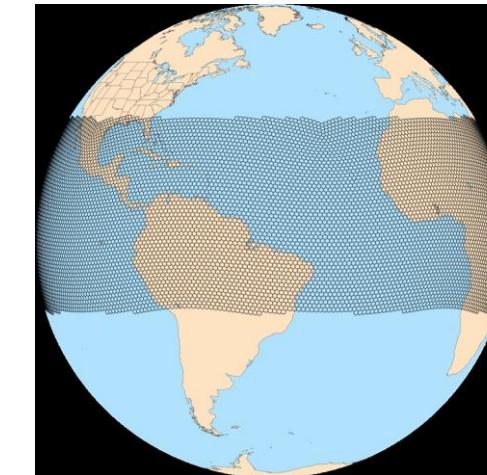
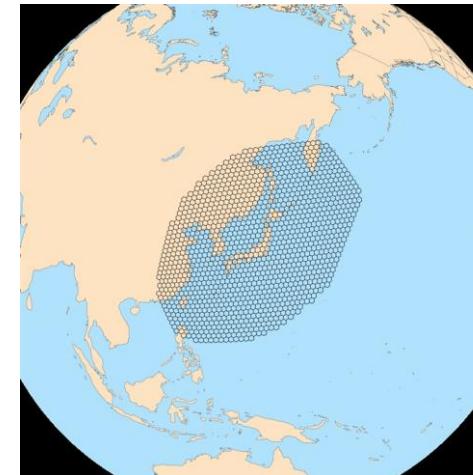
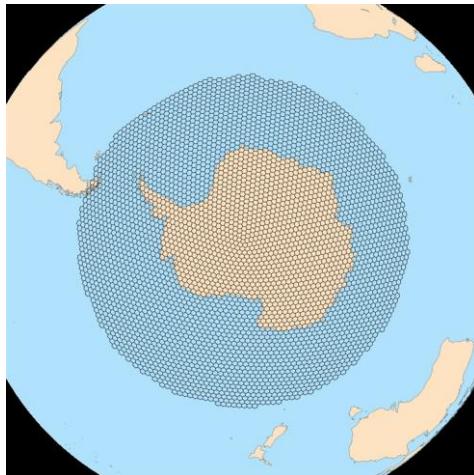


Criando malhas de área limitada



MPAS-Limited-Area é uma ferramenta Python simples (~1300 linhas).

- Os módulos Python NumPy e NetCDF4 são necessários.
- Uma malha "pai" e um arquivo de definição de região são os únicos inputs



Diversos tipos de região são suportados para definir regiões: círculos, elipses, canais e polígonos gerais.

- Com algum conhecimento em Python, adicionar novos tipos de região deve ser fácil.

[MPAS-Dev/MPAS-Limited-Area: Python tool to create a regional subset of a global MPAS Mesh \(github.com\)](https://github.com/MPAS-Dev/MPAS-Limited-Area)

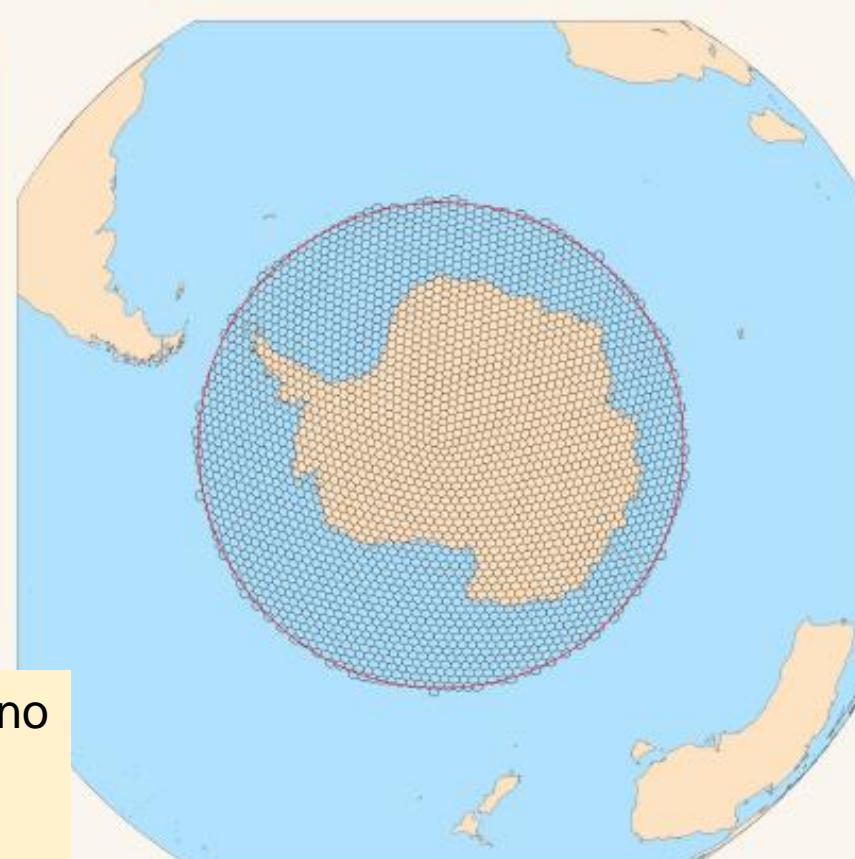


Criando malhas de área limitada: Região Circular



Para regiões circulares, a definição da região parece com o seguinte:

```
Name: Antarctic  
Type: circle  
Point: -90.0, 0.0  
radius: 3300
```



"Point" fornece a latitude e longitude no centro do círculo,

"radius" fornece o raio em quilômetros.



Criando malhas de área limitada: Região Elíptica



Para regiões elípticas, a definição da região se parece com o seguinte:

```
Name: Japan  
Type: ellipse  
Point: 38.0, 138.0  
Semi-major-axis: 2000000  
Semi-minor-axis: 1000000  
Orientation-angle: 45
```



"Point" fornece a latitude e longitude no centro da elipse,

"Semi-major-axis" e "Semi-minor-axis" estão em metros,

"Orientation-angle" dá a rotação dos eixos da elipse.

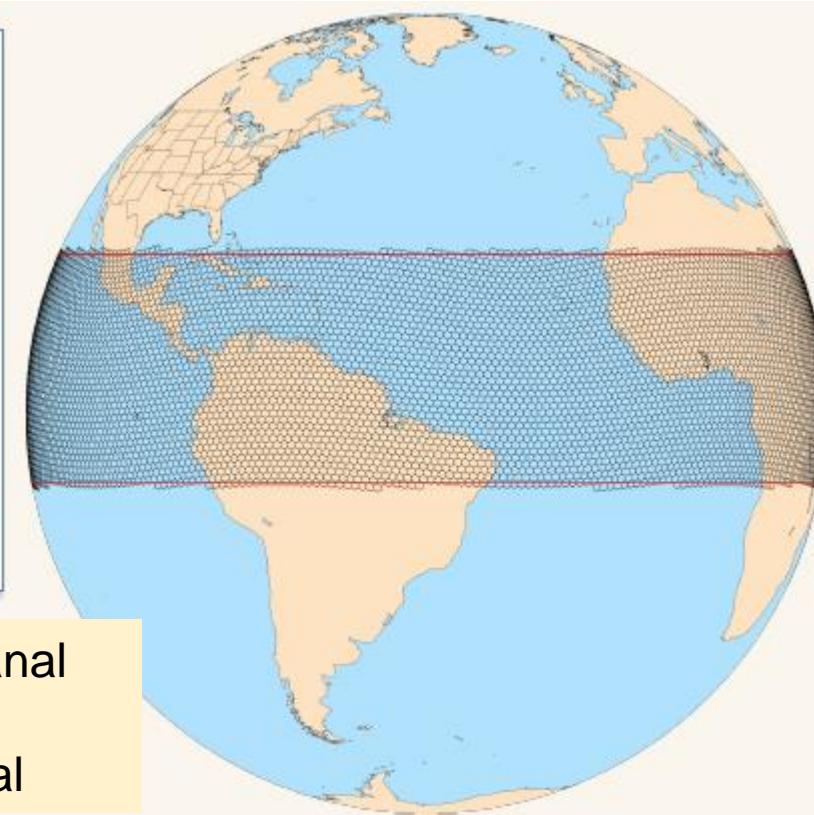


Criando malhas de área limitada: Região Canal



Para regiões de canal, a definição da região se parece com o seguinte:

```
Name: Tropics  
Type: channel  
ulat: 23.4  
llat: -10.0
```



“ulat” fornece a latitude superior do canal

“llat” fornece a latitude inferior do canal



Criando malhas de área limitada : região Polígono



Para regiões de polígono, a definição da região se parece com o seguinte:

```
Name: Aus  
Type: Custom  
Point: -24.0, 134.0  
-11.36, 137.50  
-10.27, 130.85  
-11.24, 129.46  
...  
-15.17, 137.40  
-13.20, 137.78
```



"Point" fornece a latitude e longitude de um ponto que está no interior do polígono.

E é seguido por uma lista de pontos de limite de latitude e longitude.

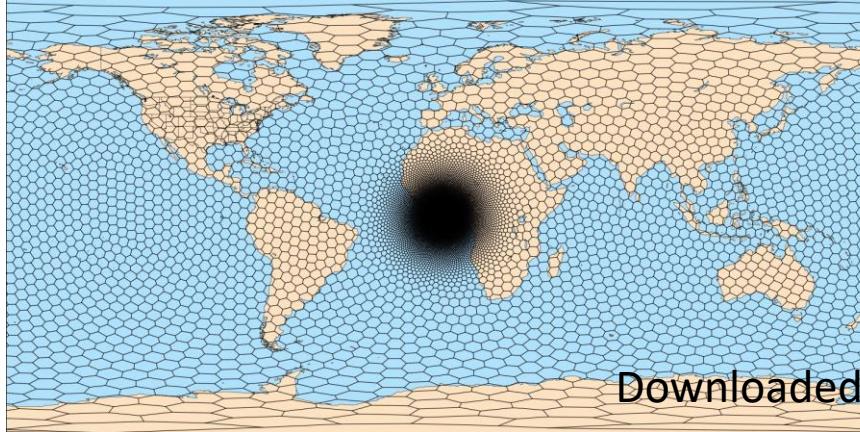


Criando malhas de área limitada: Região circular com refinamento

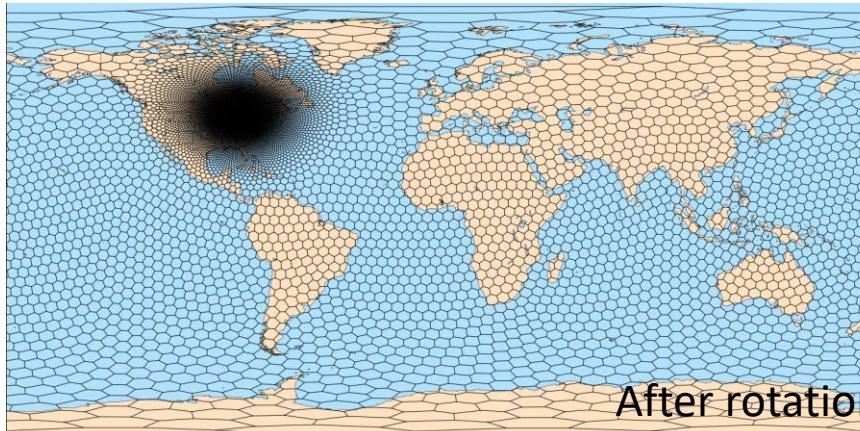


Criar malhas de área limitada a partir de malhas "pai(global)" de resolução variável funciona igualmente bem...

- 1.Rotacione o refinamento para uma região de interesse usando a ferramenta `grid_rotate` descrita anteriormente.



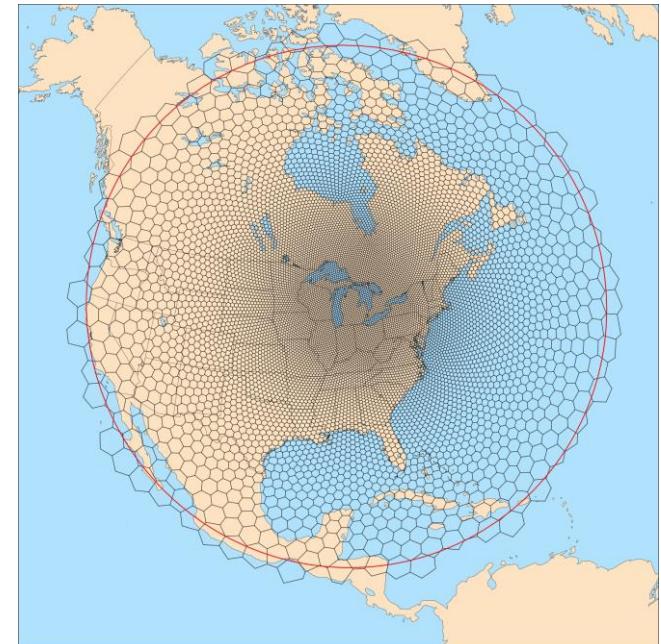
`grid_rotate`



After rotation

MPAS-Limited-Area

- 2.Extraia uma malha de área limitada usando a ferramenta MPAS-Limited-Area.

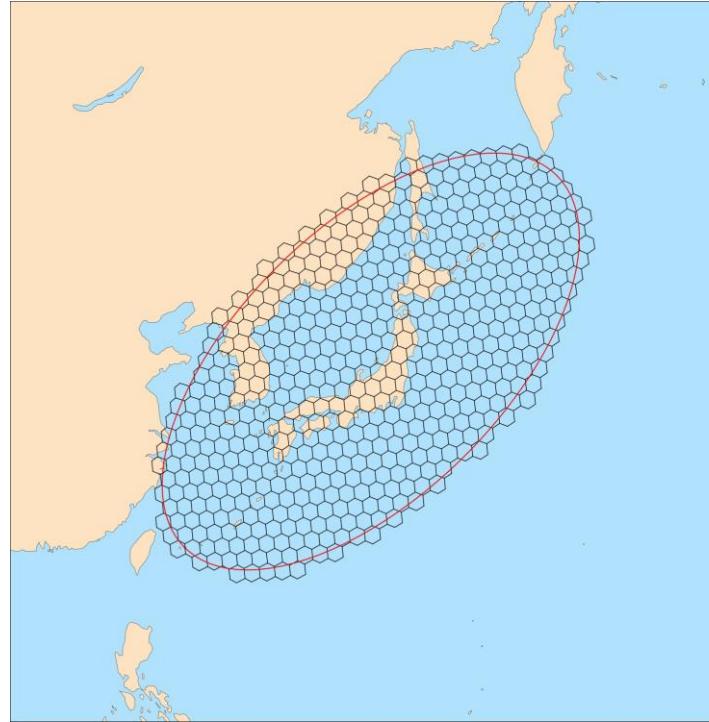




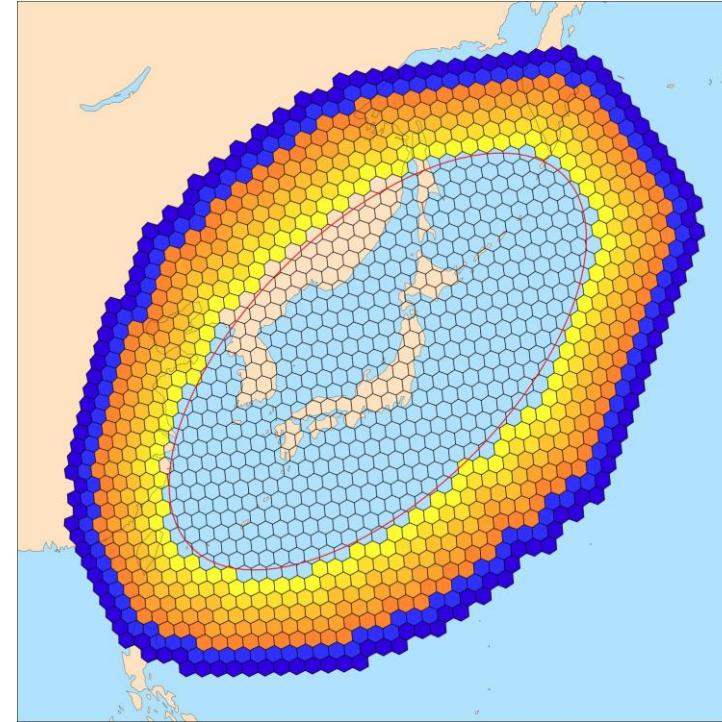
Criando malhas de área limitada: Células de contorno



Após as **células dentro da região** terem sido identificadas, **camadas de células de relaxamento** e **especificadas** são adicionadas.



Acima: Uma região elíptica (vermelha) com células identificadas como estando dentro da região.



Acima: Camadas de células da zona de relaxamento (amarelo-laranja) e camadas de células da zona especificada (azul-roxo) são adicionadas.

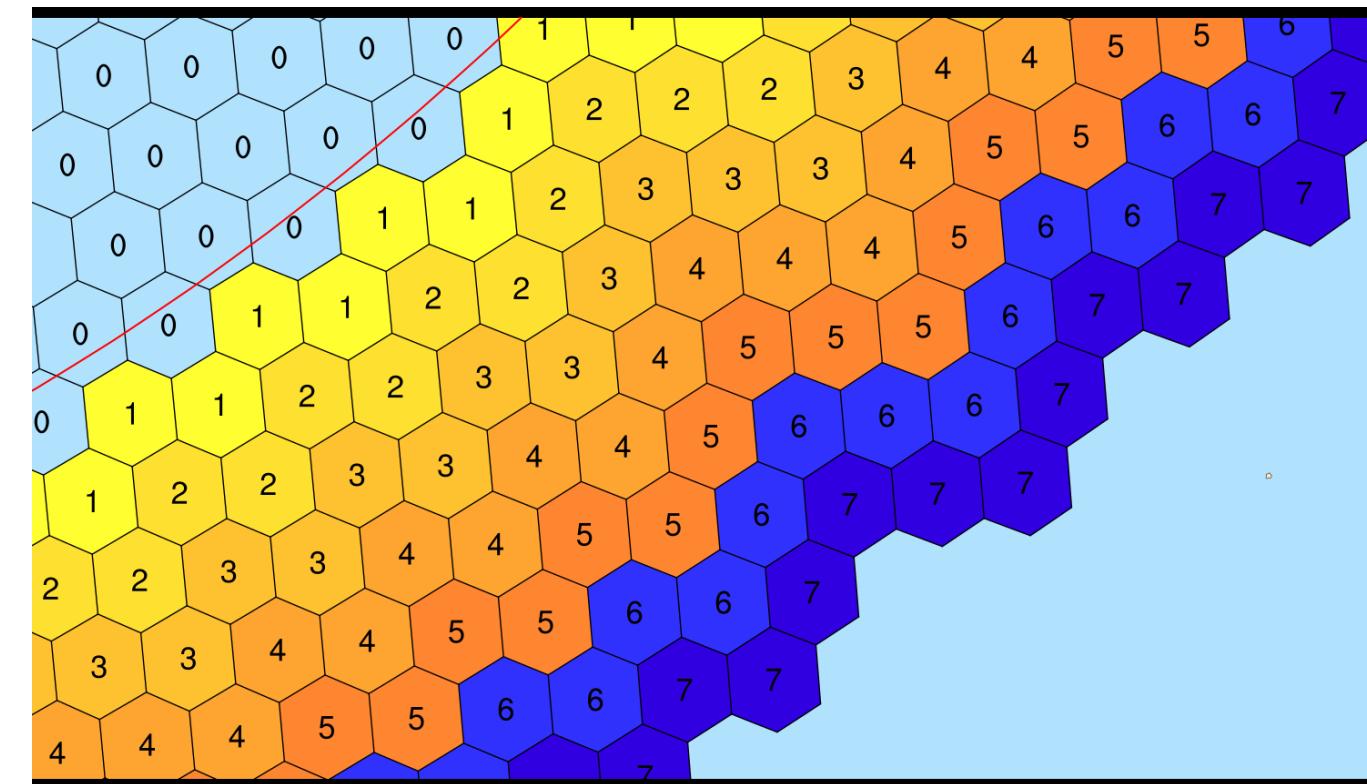
Criando malhas de área limitada: Células de contorno



Na versão 7.0 ou posterior do MPAS, temos:

- **Cinco camadas de células** de **zona de relaxamento**
- **Duas camadas de células** de **zona especificada**

Um campo de número inteiro, bdyMaskCell, identifica os tipos de células de contorno no arquivo de malha regional.



À esquerda: Valores do campo
bdyMaskCell na fronteira lateral.



Running Regional MPAS



Executando

`create_region` pode criar subconjuntos regionais a partir de arquivos de grade global do MPAS ou arquivos estáticos do MPAS.

A qualquer momento, você pode passar a flag `-h` ou `--help` para `create_region` para gerar uma mensagem de ajuda, instruções de uso e uma lista de opções.

O uso da linha de comando é:

```
$ create_region [options] points grid
```

Onde points é um arquivo de especificação de pontos e grid é um arquivo de grade global MPAS no formato NetCDF.

Você encontrará um exemplo de arquivo de pontos no diretório `points-exemplo` dentro do diretório `docs` deste repositório e abaixo na seção Sintaxe de Pontos.



Running Regional MPAS



Executando

Notas sobre a criação de regiões a partir de arquivos .grid.nc

Ao criar subconjuntos de regiões a partir de arquivos .grid.nc, é importante levar em conta algumas coisas:

- 1) Devido à forma como o modelo *init atmosphere interpola alguns dados estáticos*, é possível criar campos estáticos incorretos em uma malha côncava durante a **interpolação estática do modelo init_atmosphere**.
- 2) Criar **uma malha que seja côncava** em sua forma geral ou que **abranja longitudes significativas perto dos polos** fará com que o modelo *init atmosphere interpole incorretamente alguns campos estáticos*.
- 3) Portanto, ao **subdividir** uma região de um arquivo .grid.nc, **é importante garantir que a forma da região subdividida seja convexa**.
- 4) Se você deseja ter uma região convexa ou uma região que abrange muitas longitudes, **pode evitar esse problema simplesmente usando este programa em malhas que contenham campos estáticos** (ou seja, arquivos static.nc).



Running Regional MPAS



Executando

Notas sobre a Criação de Regiões Grandes (**nCells >= 2,000,000**)

Se **a região que você criar** for significativamente grande (**>= 2.000.000 células de grade**), você precisará alterar a versão do arquivo NetCDF do arquivo de grade regional.

Para fazer isso, você pode alterar o argumento de palavra-chave format da chamada de inicialização do LimitedArea dentro do script create_region para **NETCDF3_64BIT_DATA**:

```
regional_area = LimitedArea(args.grid,  
                             args.points,  
                             format='NETCDF3_64BIT_DATA',  
                             **kwargs)
```



Running Regional MPAS



Sintaxe de Pontos (pts)

```
Name: Desired_name_of_region
Type: custom
Point: lat, lon      # Point that inside the region
lat1, lon1          # List of points specifying the region
lat2, lon2
lat3, lon3
...
latN, LonN
```

Vários arquivos de sintaxe de pontos estão disponíveis em [docs/points-examples](#).

A sintaxe de pontos é um formato de arquivo simples que pode ser usado para especificar uma região.

Existem vários métodos diferentes para definir ou gerar uma região. Atualmente, estes incluem:
Polígono/Personalizado, Elipse, Círculo e Canal.

Cada método diferirá ligeiramente na sintaxe usada para descrever uma região, mas um número de palavras-chave será necessário para cada método.



Running Regional MPAS



Sintaxe de Pontos (pts)

Name: Desired_name_of_region

Type: custom

Point: lat, lon # Point that inside the region

latN, LonN # List of points specifying the region

Cada arquivo pts precisará especificar as seguintes palavras-chave seguidas por um valor apropriado:

Nome: - O nome desejado para sua região. A palavra-chave especificada será anexada à região produzida.

Tipo: - O método para gerar a região [personalizado/círculo]

Ponto: - Uma coordenada de latitude e longitude separada por vírgula de um ponto que está dentro da região desejada.

Observação: Para o método do círculo e método da elipse, este ponto será usado como o centro do círculo e da elipse. O ponto não é usado com o método do canal.



Running Regional MPAS



Sintaxe de Pontos (pts)

```
Name: Desired_name_of_region  
Type: custom  
Point: lat, lon      # Point that inside the region  
latN, LonN          # List of points specifying the region
```

O valor após Nome: será o nome da nova malha regional.

Se o **Nome dentro do arquivo pts** foi definido como o seguinte:

Nome: **nome_da_região:** Então, a grade MPAS regional resultante será nomeada da seguinte maneira:

nome_da_região.grid.nc se a região foi criada a partir do **x1.10242.grid.nc**.



Running Regional MPAS



Polígono

Um arquivo de pontos de polígono se pareceria com o seguinte:

```
Name: Desired_name_of_region
```

```
Type: custom
```

```
Point: lat, lon      # Point that inside the region
```

```
lat1, lon1          # List of points specifying the region
```

```
lat2, lon2
```

```
lat3, lon3
```

```
...
```

```
latN, LonN
```

Para o método de polígono,

o valor de Tipo : deve ser especificado como personalizado.

O valor de Ponto: deve ser um ponto de latitude e longitude que está dentro da região desejada em graus.

Após a especificação do Ponto, qualquer número de pontos de coordenada (em graus) que definem o limite desejado pode ser listado.

Os pontos devem ser listados na ordem anti-horária.



Running Regional MPAS



Polígono

Um exemplo de método de polígono para definir a região CONUS (`conus.custom.pts`):

```
Name: conus
Type: custom
Point: 40.0, -100.0
      50.0, -129.0
      50.0, -65.0
      20.0, -65.0
      20.0, -129.0
```

NOTA: Ao criar malhas regionais com o método de polígono, **deve ter o cuidado de não**
não criar regiões côncavas. Fazer isso resultará em **resultados errôneos do**
init atmosphere do MPAS ao interpolar campos estáticos.

Consulte a seção sobre regiões côncavas.



Running Regional MPAS



Círculo

O método do círculo produz um subconjunto circular regional de uma grade global, dado um ponto central (Ponto) e um raio a partir desse ponto (Raio).

Um exemplo de especificação de pontos de círculo seria assim:

```
Name: my_circle  
Type: circle  
Point: 53.5, -4.5  
Radius: 655000.0      # Meters
```

Neste Método, Ponto é usado para especificar o centro do círculo e Raio é usado para especificar o raio do círculo (em metros).

NOTA: O raio deve ser maior do que pelo menos a menor célula de grade, caso contrário, comportamento inesperado ocorrerá.



Running Regional MPAS



Círculo

Um exemplo de método de círculo para definir um círculo ao redor do Colorado, EUA, é:

Name: colorado

Type: circle

Point: 40.0, -105.0

radius: 400000.0



Running Regional MPAS



Canal Equatorial

O método do canal equatorial pode ser usado para especificar um canal paralelo ao equador, através das longitudes e entre dois pontos de latitude.

Por exemplo, pode-se especificar uma região entre os trópicos como:

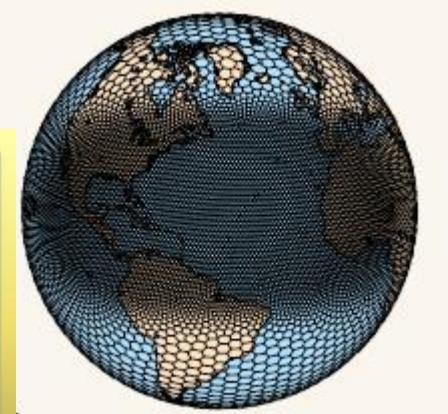
Name: tropics
Type: channel
Upper-lat: 23.43676
lower-lat: -23.43676

Cuidado ao criar canais de arquivos grid.nc

Dependendo da localização de um canal especificado, resultados errôneos podem ser causados durante alguma interpolação de campos estáticos pelo núcleo init atmosphere.

Isso causará resultados errôneos nos arquivos estáticos resultantes e fará com que os arquivos resultantes sejam inutilizáveis.

Portanto, é altamente recomendável usar o método de canal apenas em arquivos static.nc. Fazê-lo evitará esse problema e também economizará tempo na interpolação dos campos estáticos em diferentes regiões. [Yoshio Kubota](#)





Running Regional MPAS



Elipse

O método da elipse produz uma região em forma de elipse e é especificado por um **comprimento de semi-eixo maior e semi-eixo menor, bem como uma orientação:**

```
Name: my_ellipse
Type: ellipse
Point: 55.0, 93.0          # Latitude, Longitude (degrees)
Semi-major-axis: 6500000    # Meters
Semi-minor-axis: 3000000    # Meters
Orientation-angle: 15.0    # Clockwise rotation from due north (degrees)
```



Running Regional MPAS



more regional/003_km/**Belem.ellipse.pts**

Name: Belem

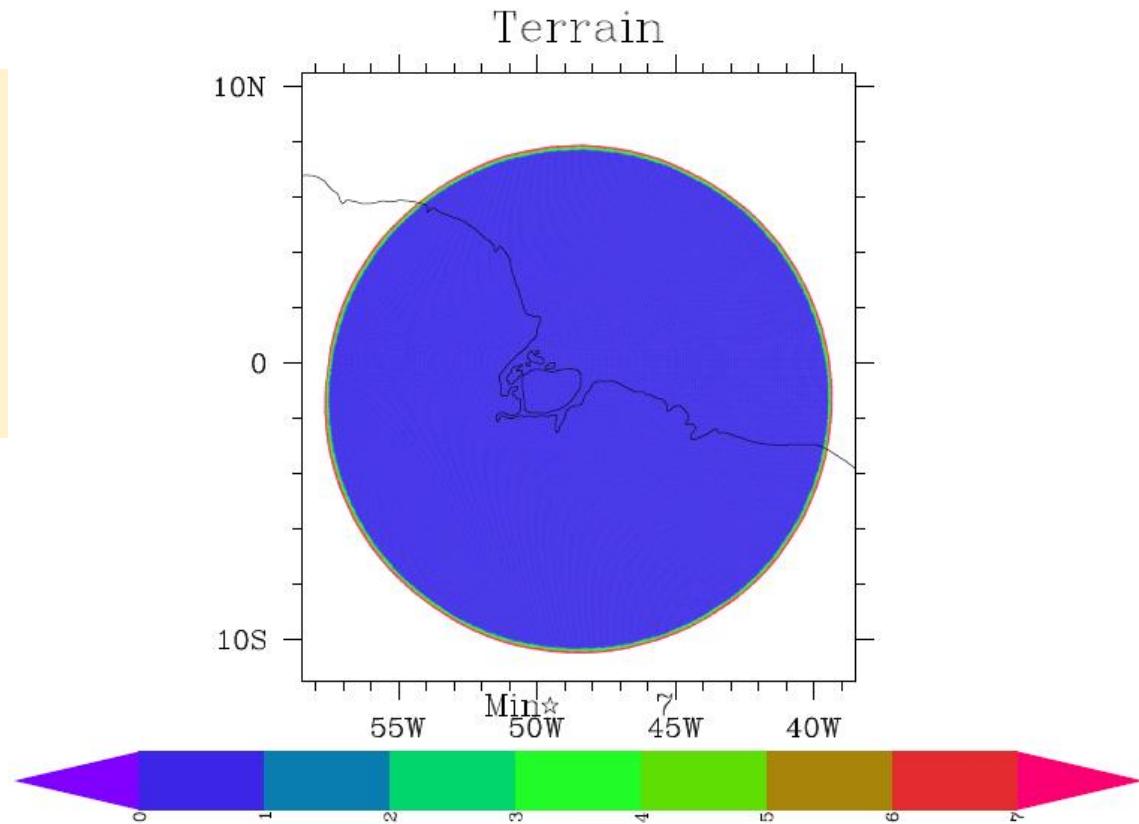
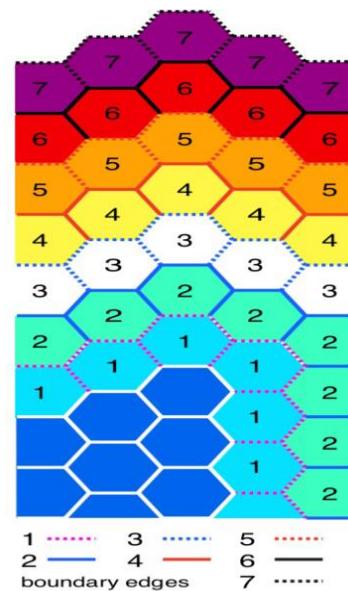
Type: ellipse

Point: -1.3, -48.5

Semi-major-axis: 1000000 # Raio at Meters

Semi-minor-axis: 1000000 # Raio at Meters

Orientation-angle: 45





Running Regional MPAS



```
more recorte.bash
#!/bin/bash +x

RES=65536002
AreaRegion="Belem"
case "`echo ${RES} | awk '{print $1/1 }'" in
65536002)RES_KM='003_km' ;;
2621442)RES_KM='015_km' ;;
1024002)RES_KM='024_km' ;;
655362)RES_KM='030_km' ;;
256002)RES_KM='048_km' ;;
163842)RES_KM='060_km' ;;
40962)RES_KM='120_km' ;;
10242)RES_KM='240_km' ;;
4002)RES_KM='384_km' ;;
2562)RES_KM='480_km' ;;
esac
## create_region      points      grid
./create_region      regional/${RES_KM}/${AreaRegion}.ellipse.pts      global/${RES_KM}/x1.${RES}.grid.nc
```

Cria os arquivos

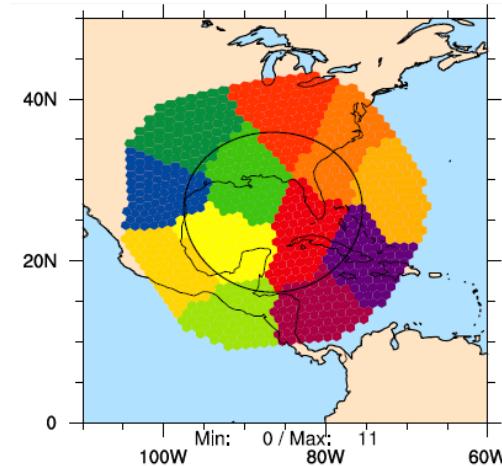
Belem.65536002.graph.info
Belem.65536002.grid.nc



Running Regional MPAS



Gerar uma nova **partição do
domínio Regional**





Running Regional MPAS



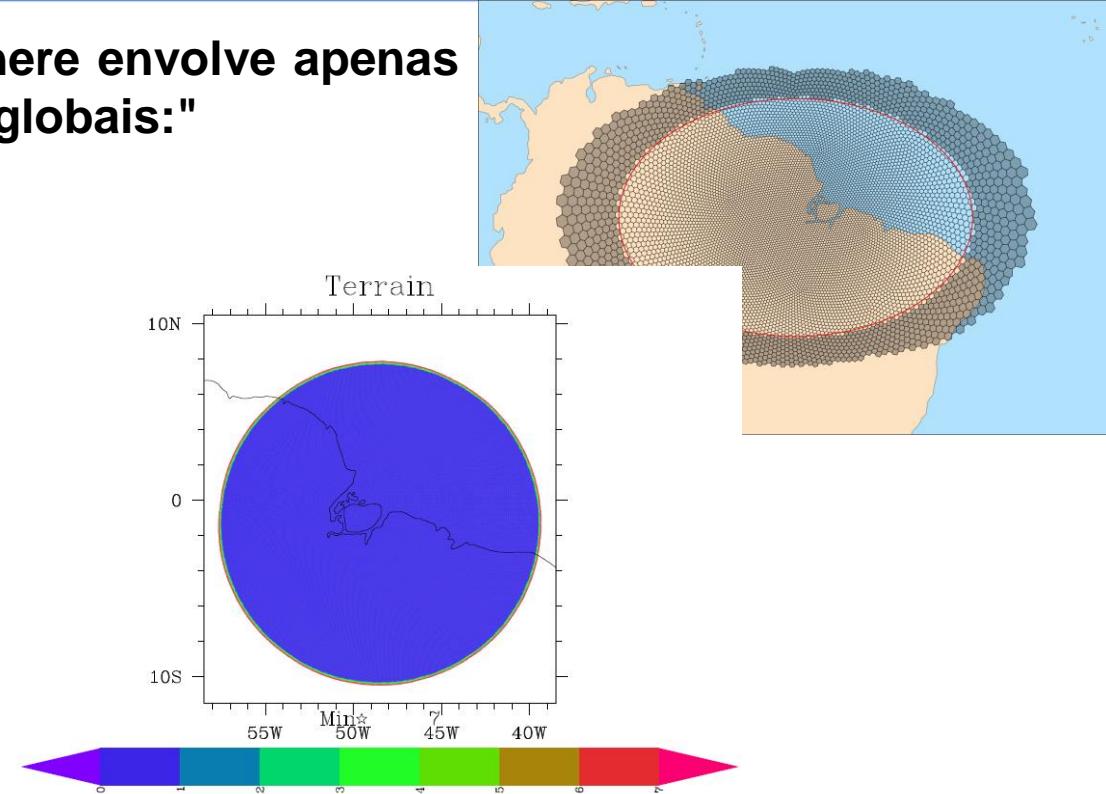
"Executar simulações de área limitada com o MPAS-Atmosphere envolve apenas pequenas variações no processo de execução de simulações globais:"

- Um domínio de área limitada deve ser definido, e uma malha deve ser criada para esse domínio.

• Partição do domínio

- Além das condições iniciais (ICs), as condições de contorno lateral (LBCs) devem ser geradas com o núcleo `init_atmosphere`.

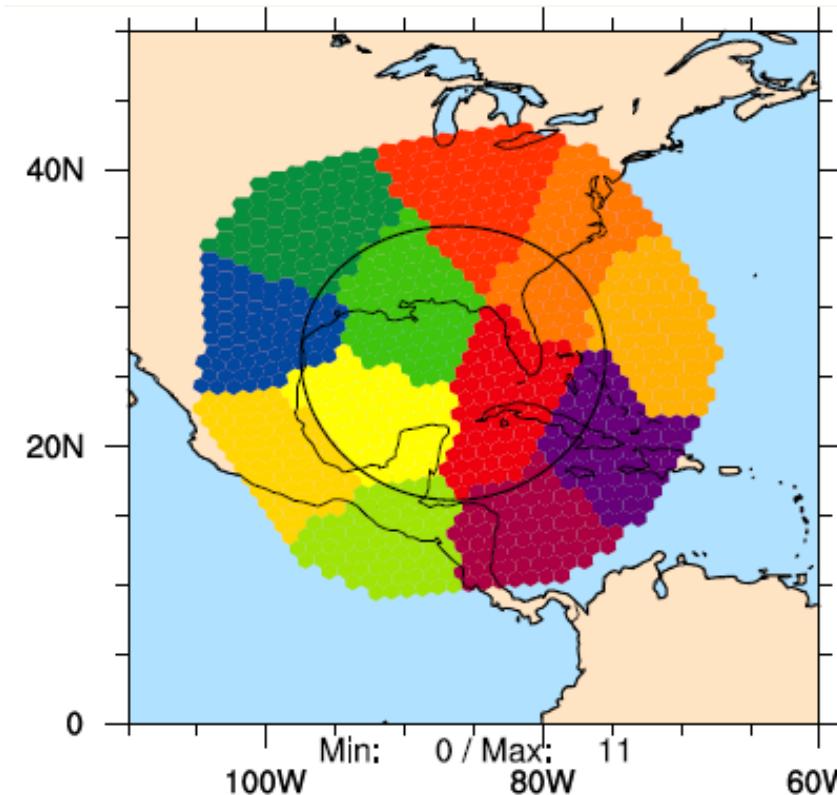
- As LBCs devem ser habilitadas ao executar a atmosfera.



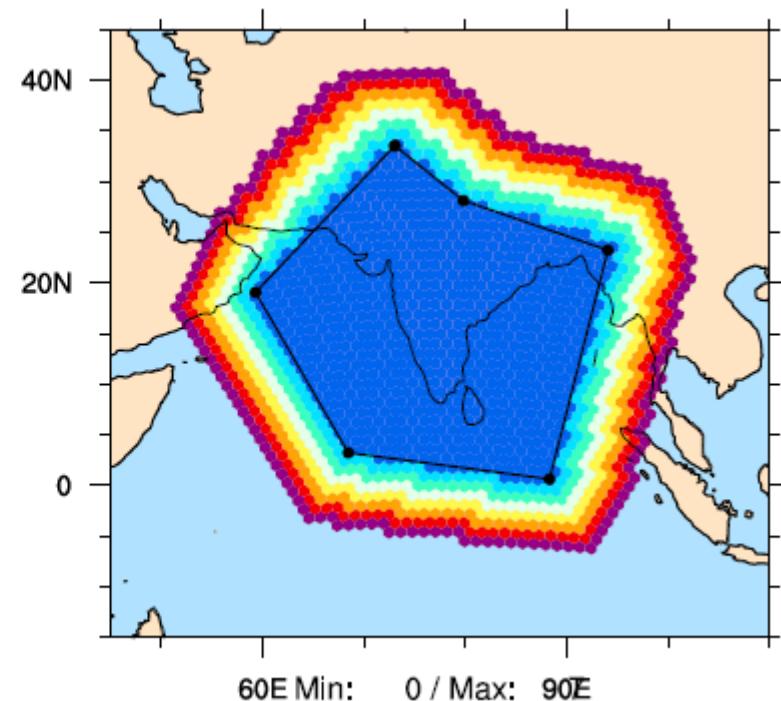
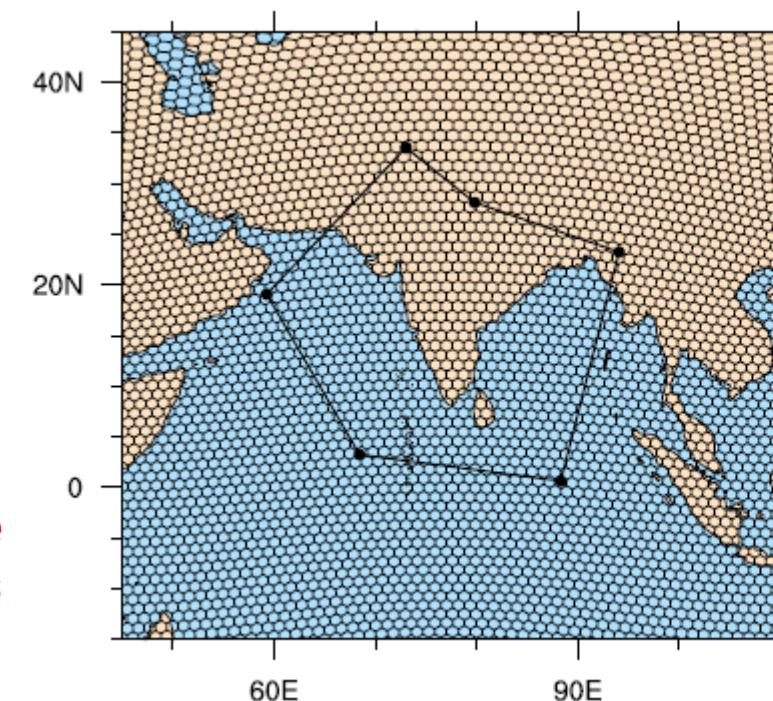
Acima: Uma malha MPAS de área limitada com resolução variável. As células da zona de relaxamento e da zona especificada estão sombreadas em cinza.



MPAS regional



A **paralelização por decomposição de domínio horizontal** é realizada da mesma forma que no MPAS global



A ferramenta **existente** permite que zonas regionais sejam especificadas como círculos, elipses ou polígonos

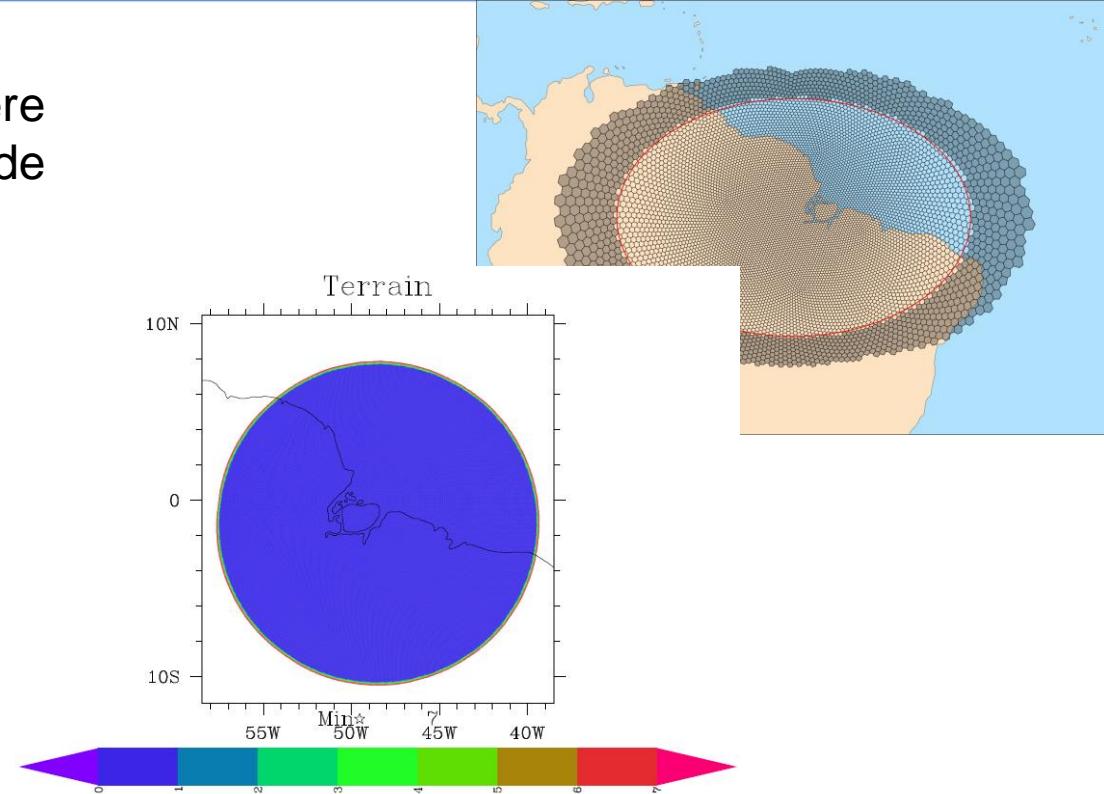


Running Regional MPAS



"Executar simulações de área limitada com o MPAS-Atmosphere envolve apenas pequenas variações no processo de execução de simulações globais:"

- Um **domínio de área limitada deve ser definido**, e uma **malha** deve ser criada para esse domínio.
- Além das **condições iniciais (ICs)**, as **condições de contorno lateral (LBCs)** devem ser geradas com o `núcleo init_atmosphere`.
- As **LBCs devem ser habilitadas** ao executar a atmosfera.



Acima: Uma malha MPAS de área limitada com resolução variável. As células da zona de relaxamento e da zona especificada estão sombreadas em cinza.



Running Regional MPAS



Preparing a MPAS-A Simulation - Run Directory Example

"MPAS executa em paralelo, particionando sua malha entre os ranks.

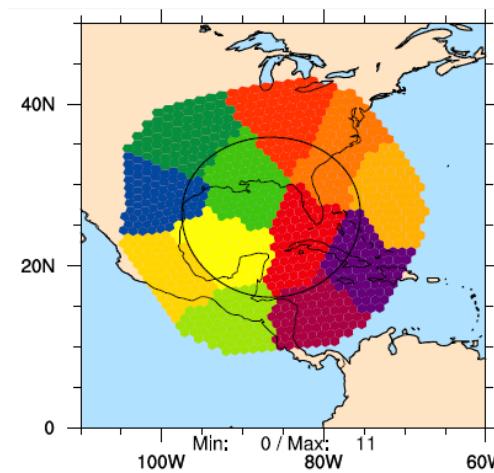
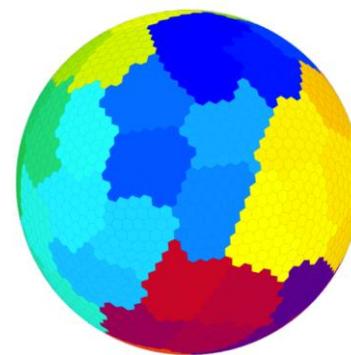
Essas partições devem ser pré-computadas e isso foi feito usando a ferramenta METIS

<https://github.com/scibuilder/metis/>

Por exemplo, para gerar uma nova partição para 36 ranks, dado um arquivo *.graph.info existente (que descreve os vizinhos/conexões das células), você usaria um comando como

```
$path/gpmetis -minconn -niter=200 x1.40962.graph.info 36
```

Isso tentará dar a cada partição um número igual de células enquanto minimiza as bordas para manter a comunicação baixa."





Com o gpmmetis, um comando como o seguinte deve funcionar:

Comando:

```
gpmmetis -minconn -contig -niter=200 graph.info N
```

N é o numero de partições graph

Exemplo

```
gpmmetis -minconn -contig -niter=200 x4.535554.graph.info 896
```

Houve alguns casos em que o Metis produzia partições não contíguas, então a opção '-contig' é necessária.

Usar 200 iterações é uma escolha um tanto arbitrária, não há resultados quantitativos para sugerir que isso é melhor do que o número padrão de iterações, mas dado que o gpmmetis é executado tão rapidamente de qualquer forma, '-niter=200' não parece prejudicar."

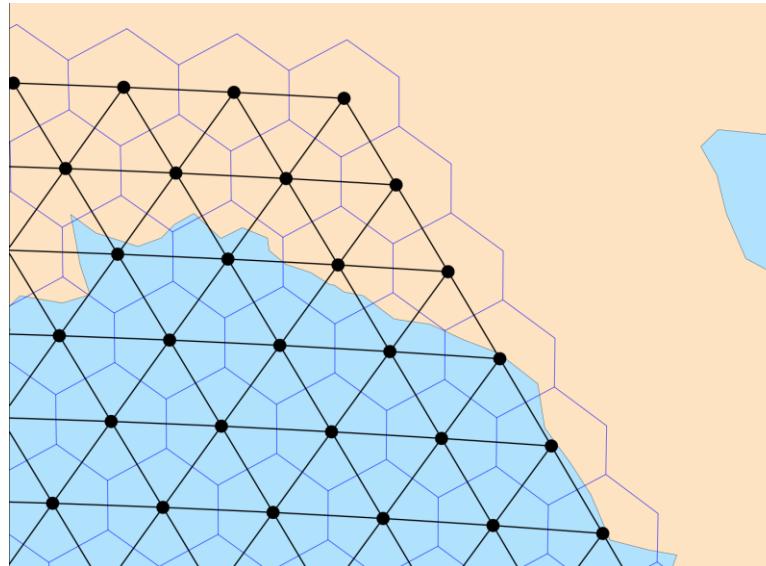


Criando malhas de área limitada: particionamento



Para malhas de área limitada recém-criadas, é necessário partitionar a malha para execução paralela.

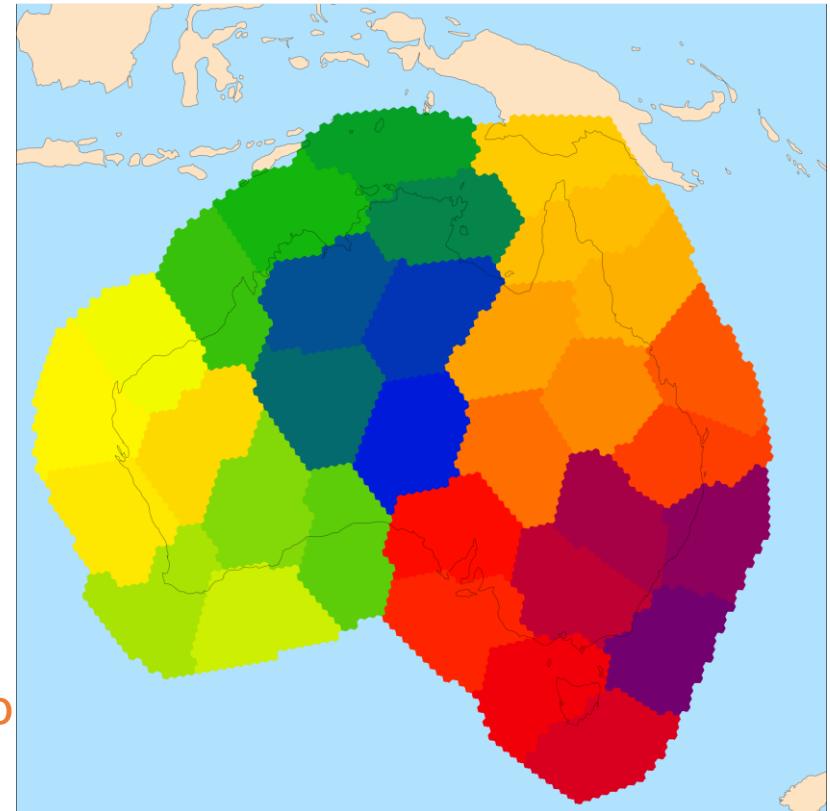
A ferramenta **MPAS-Limited-Area escreve** não apenas o **arquivo de malha netCDF (grid)**, mas também um arquivo **graph.info**



Belem.65536002.graph.info
Belem.65536002.grid.nc

Uma ilustração das informações de conectividade da malha contidas em um arquivo graph.info.

See Section 4.1 in the User's Guide



Células em uma malha regional coloridas de acordo com sua partição em um arquivo graph.info.part.

Paulo Yoshio Kubota



Criando malhas de área limitada: particionamento



```
(base) [paulo.kubota@headnode quasi_uniform]$ more recorte.bash
#!/bin/bash +x

RES=65536002
AreaRegion="Belem"
case "`echo ${RES} | awk '{print $1/1 }'`" in
65536002)RES_KM='003_km' ;;
2621442)RES_KM='015_km' ;;
1024002)RES_KM='024_km' ;;
655362)RES_KM='030_km' ;;
256002)RES_KM='048_km' ;;
163842)RES_KM='060_km' ;;
40962)RES_KM='120_km' ;;
10242)RES_KM='240_km' ;;
4002)RES_KM='384_km' ;;
2562)RES_KM='480_km' ;;
esac
#\$ create_region          points          grid
#create_region      regional/${RES_KM}/${AreaRegion}.ellipse.pts      global/${RES_KM}/x1.${RES}.grid.nc
#mv ${AreaRegion}.graph.info  regional/${RES_KM}/${AreaRegion}.${RES}.graph.info
#mv ${AreaRegion}.grid.nc    regional/${RES_KM}/${AreaRegion}.${RES}.grid.nc

path_mets=/mnt/beegfs/paulo.kubota/monan_project/metis-5.1.0/build/Linux-x86_64/programs
${path_mets}/gpmetis -minconn -contig -niter=1000 regional/${RES_KM}/${AreaRegion}.${RES}.graph.info 128
${path_mets}/gpmetis -minconn -contig -niter=1000 regional/${RES_KM}/${AreaRegion}.${RES}.graph.info 32
${path_mets}/gpmetis -minconn -contig -niter=1000 regional/${RES_KM}/${AreaRegion}.${RES}.graph.info 256
${path_mets}/gpmetis -minconn -contig -niter=1000 regional/${RES_KM}/${AreaRegion}.${RES}.graph.info 512
```



Criando malhas de área limitada: particionamento



```
(base) [paulo.kubota@headnode quasi_uniform]$ ls regional/003_km  
Belem.65536002.graph.info  
Belem.65536002.grid.nc  
Belem.65536002.graph.info.part.32  
Belem.65536002.graph.info.part.128  
Belem.65536002.graph.info.part.256  
Belem.65536002.graph.info.part.512
```



Configuração Regional

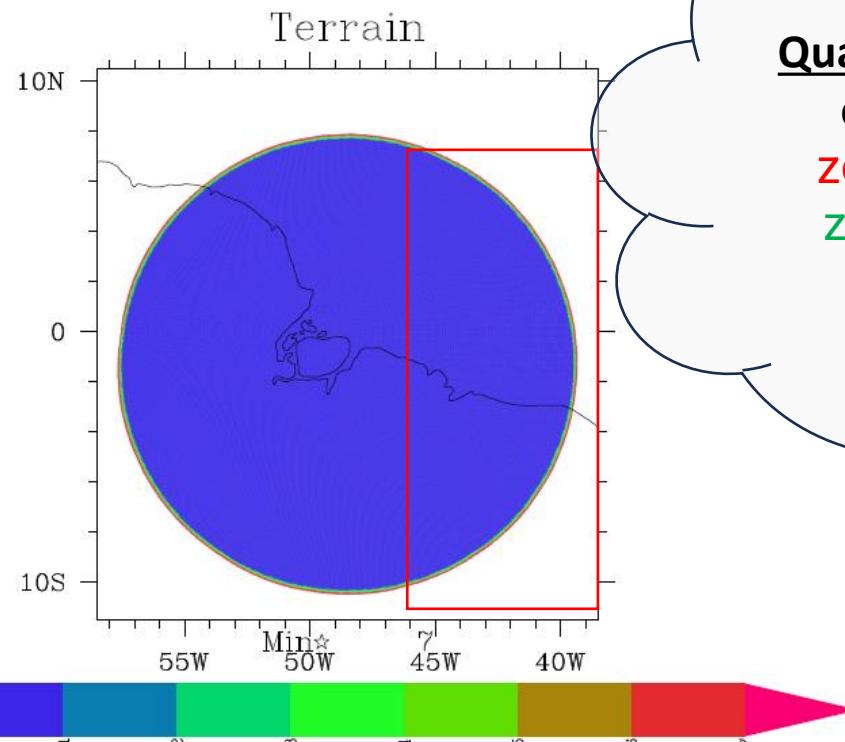


**Configuração regional para o
tratamento das bordas do domínio**

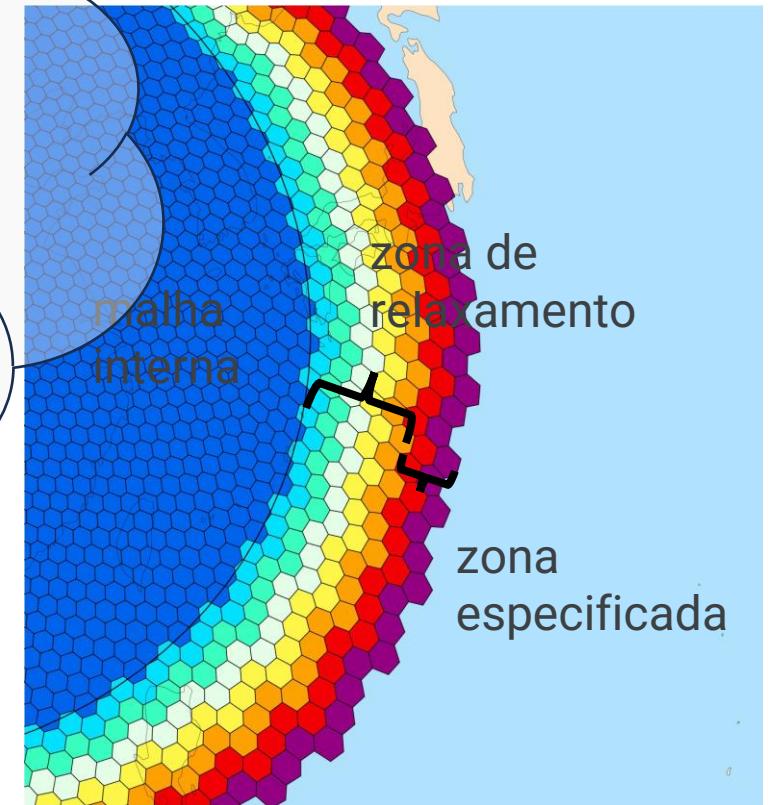


Configuração Regional

As malhas MPAS regionais possuem **uma zona de relaxação** e uma **zona especificada em sua borda externa**, com os valores numéricos da fronteira e da zona de relaxação tratados da mesma forma que no WRF.



Quando se gera a malha regional,
é construída duas camadas:
zona de relaxação(5 linhas)
zona especificada (2 linha)



Especificação da zona de relaxamento

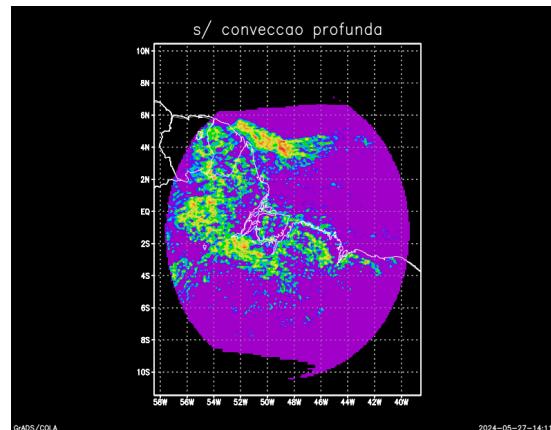
Filtros na zona de relaxamento

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = RHS_{\psi} + F_1(\psi_{LS} - \psi) - F_2 \Delta x^2 \nabla^2 (\psi_{LS} - \psi)$$

Amortecimento Rayleigh para o valor de grande escala (LS)

Amortecimento espacial de 2ª ordem da perturbação do valor (LS)

$$F_1 = \gamma_1(i-1)/m, \quad F_2 = \gamma_2(i-1)/m$$



Se o amortecimento não for bem resolvido, pode gerar ruido nas bordas do domínio regional durante a simulação



Especificação da zona limite

Por que duas linhas de células especificadas?

Os **maiores estêncéis do operador horizontal** são para o transporte horizontal e o filtro usado é de 4^a ordem ∇^4 .

∇^2 e $\nabla^4 = \nabla^2 \nabla^2$ Ambos precisam de duas linhas para preencher o estêncil.

Exemplo: fluxos no esquema de transporte.

Valores de células necessários para calcular fluxo de 3^a ordem e 4^a de ordem através de uma borda

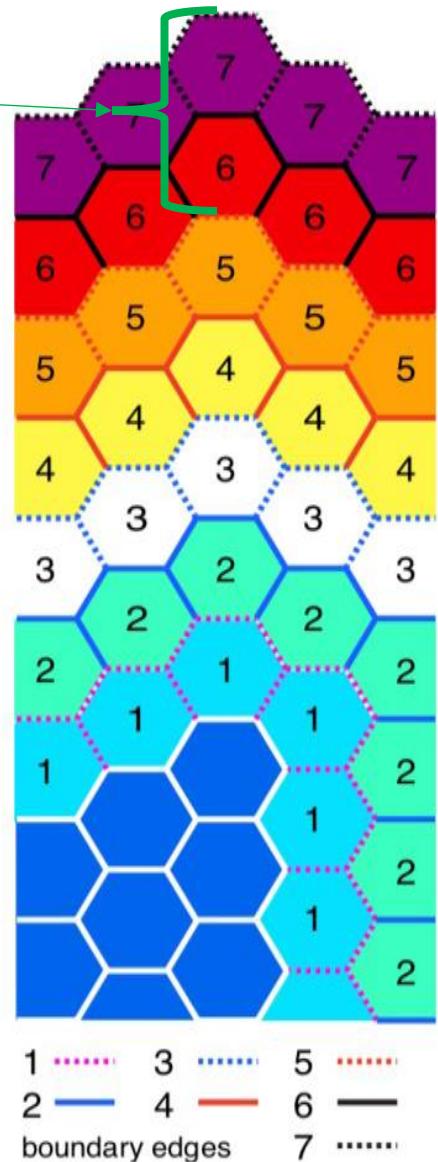
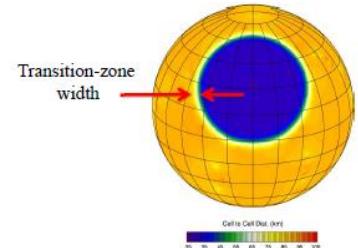
$$\text{Smagorinsky: } K_h = c_s^2 l^2 |Def|$$

l^2 scales with Δx^2

$$K_2 \nabla_\zeta^2 \phi \quad K_2 \text{ scales with } \Delta x^2$$

$$K_4 \nabla_\zeta^2 (\nabla_\zeta^2 \phi) \quad K_4 \text{ scales with } \Delta x^4$$

Localmente ondas com 2 Dx são amortecidas



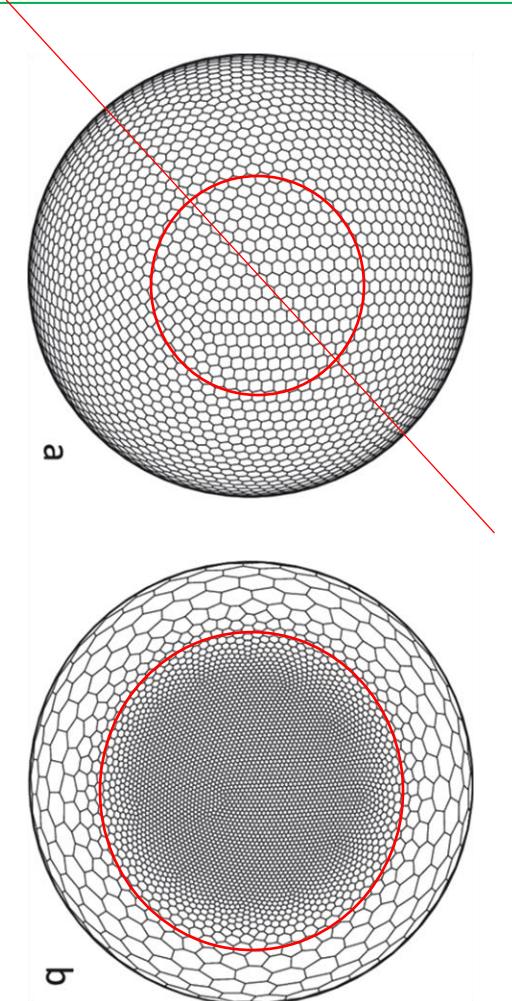
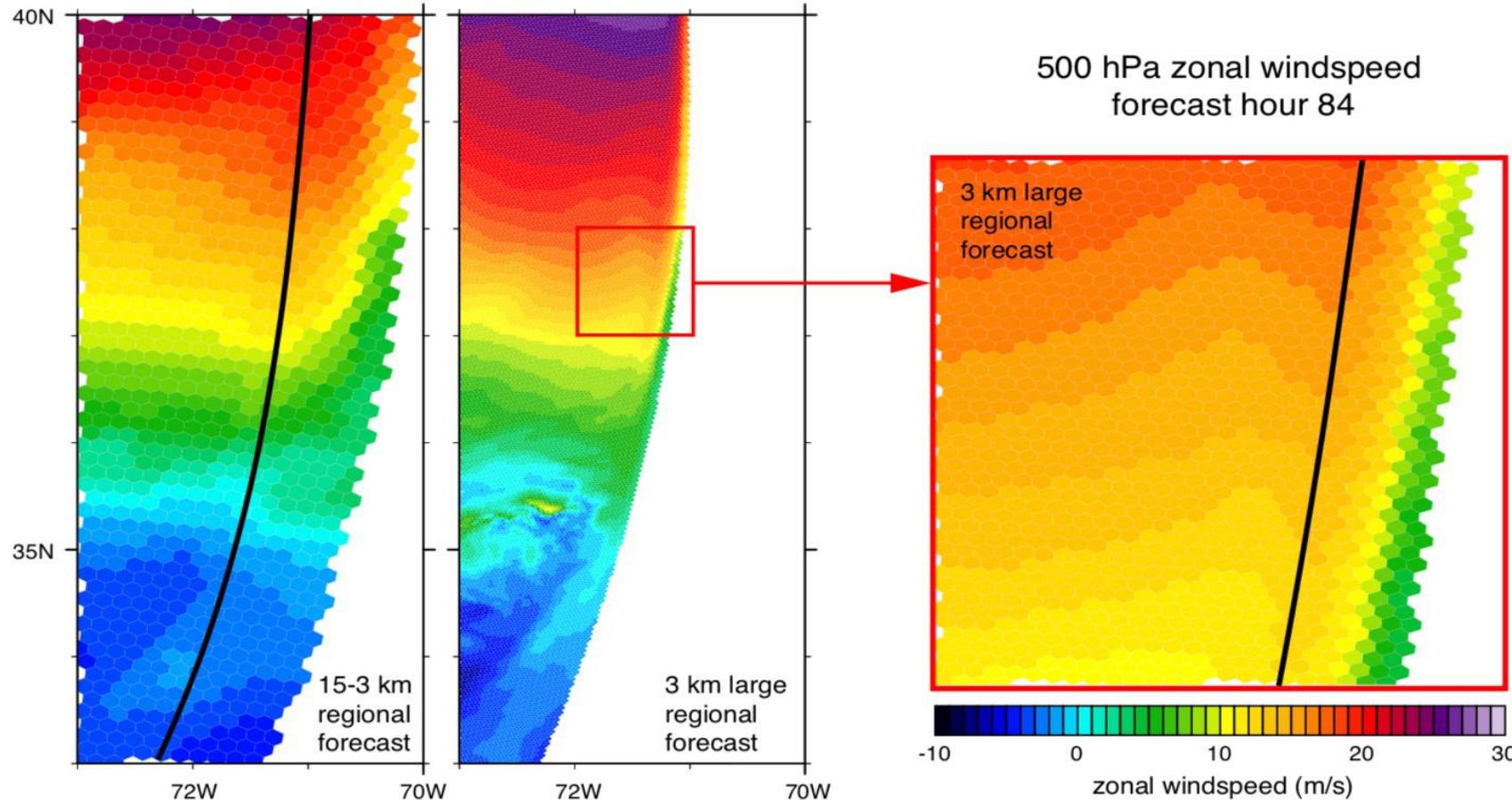
O **WRF usa 1 linha especificada** e muita lógica no solver para alterar os operadores próximos aos contornos!



MPAS regional



Resolução variável: tornar a malha mais grossa em direção aos contorno permite uma filtragem mais eficiente e incompatibilidades de solução menos abruptas





Criando malhas de área limitada: campo estático



Interpolação dos Campos Estáticos:



Criando malhas de área limitada: campo estático



Campos Estáticos:

..../WPS_GEOG/				
albedo_modis	hasyw	landuse_2m	nudapt44_1km	soiltype_top_2m
albedo_ncep	hcnvx	landuse_30s	NUDAPT44_1km	soiltype_top_30s
bnu_soiltype_bot	hlennw	landuse_30s_with_lakes	orogwd_10m	soiltype_top_5m
bnu_soiltype_top	hlens	landuse_5m	orogwd_1deg	ssib_landuse_10m
clayfrac_5m	hlensw	maxsnowalb	orogwd_20m	ssib_landuse_5m
crop	hlenw	maxsnowalb_modis	orogwd_2deg	topo_10m
erod	hslop	modis_landuse_20class_15s	orogwd_30m	topo_2m
greenfrac	hstdv	modis_landuse_20class_30s	sandfrac_5m	topo_30s
greenfrac_fpar_modis	hzmax	modis_landuse_20class_30s_with_lakes	soiltemp_1deg	topo_5m
hang1	islope	modis_landuse_21class_30s	soiltype_bot_10m	topo_gmted2010_30s
hanis	lai_modis_10m	nlcd2006_11_30s	soiltype_bot_2m	varsso
hasynw	lai_modis_30s	nlcd2006_11_9s	soiltype_bot_30s	varsso_10m
hasys	lake_depth	nlcd2011_can_11_9s	soiltype_bot_5m	varsso_2m
hasysw	landuse_10m	nlcd2011_imp_11_9s	soiltype_top_10m	varsso_5m

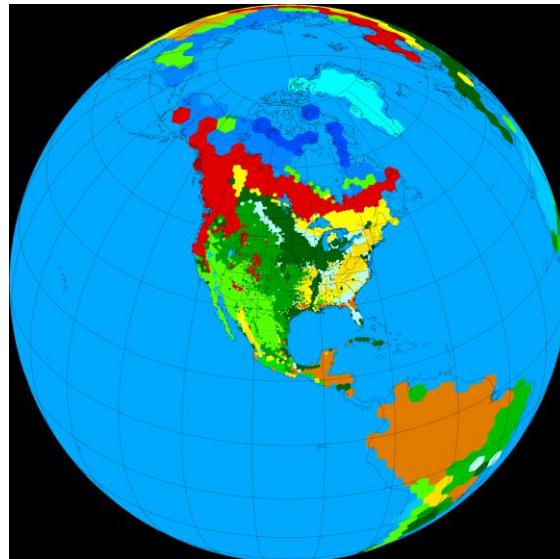


Criando malhas de área limitada: campo estático

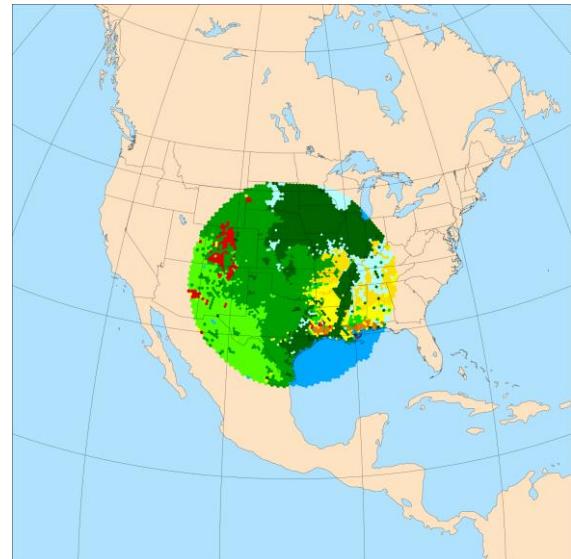


Se nenhuma rotação precisar ser aplicada, a ferramenta MPAS-Limited-Area também pode subconjugar arquivos "estáticos".

- Isso **pode economizar tempo**, por exemplo, se já **existir um arquivo estático global e uniforme!**



Acima: Um arquivo estático global de resolução variável que levou cerca de ~34 minutos para ser produzido.



Acima: Um subconjunto de área limitada do arquivo estático que levou menos de 5 segundos para ser criado.



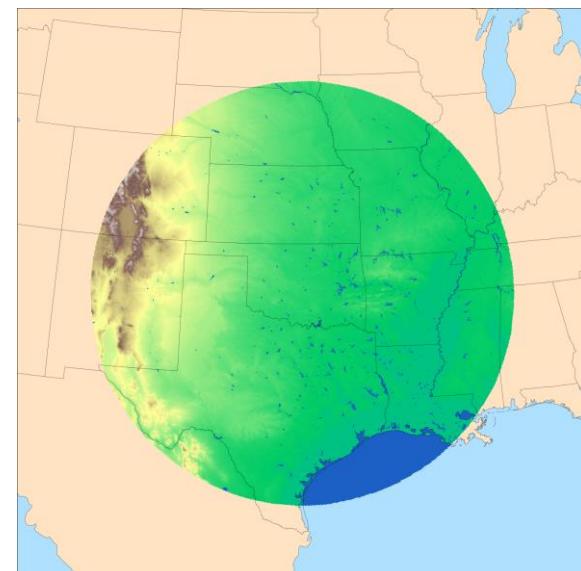
Condições Iniciais Regionais



Gerar condições iniciais de área limitada funciona exatamente como para condições iniciais globais, com uma exceção.

A **altura do terreno** nas **células de fronteira** é geralmente calculada como uma **média** entre a **altura do terreno do conjunto de dados** do **first-guess** (primeira estimativa).

```
&vertical_grid
    config_ztop = 30000.
    config_nsmterrain = 1
    config_smooth_surfaces = true
    config_dzmin = 0.3
    config_nsm = 30
    config_tc_vertical_grid = true
    config_blend_bdy_terrain = true
/
```

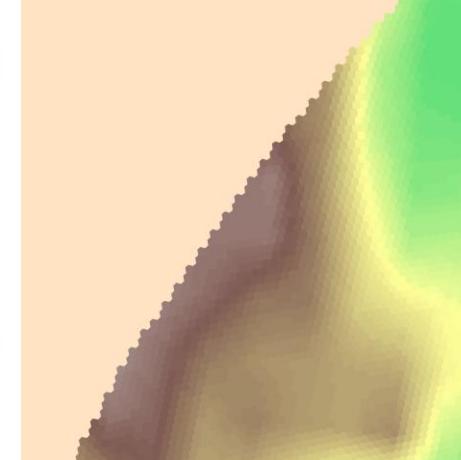


Acima: Quando
config_tc_vertical_grid=true,
config_blend_bdy_terrain também deve ser 'true'.

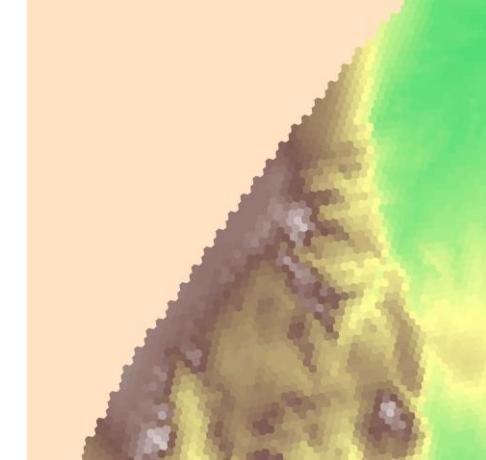
Acima: O campo de terreno em uma malha regional de cerca de ~3 km.

```
config_blend_bdy_terrain = true
```

A opção **config_blend_bdy_terrain** afeta apenas o terreno nas células de contorno (onde **bdyMaskCell > 0**).



Campo de **terreno do GFS** de 0.25 graus interpolado para a malha de 3 km.



Campo de **terreno do arquivo estático de 3 km**, interpolado diretamente do GMTED2010

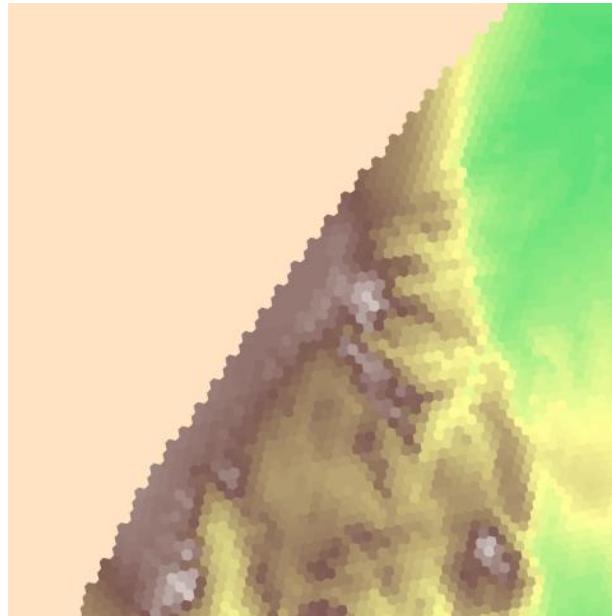
Campo de **terreno mesclado** usado na geração de superfícies de coordenadas verticais.



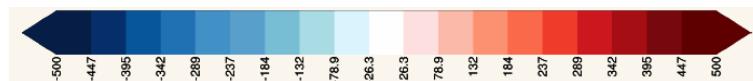
ICs Regionais: Mesclando Terreno de contorno



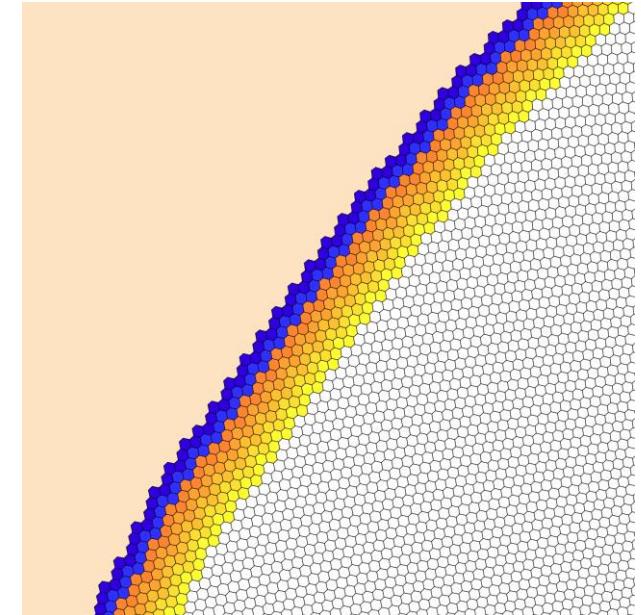
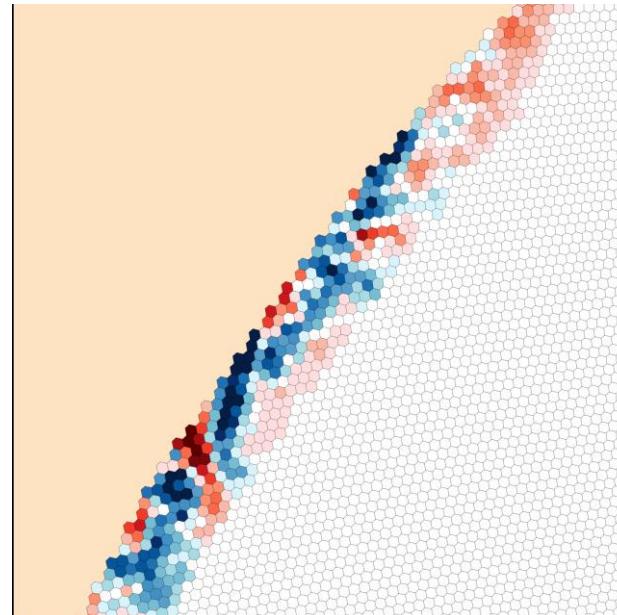
A opção **config_blend_bdy_terrain** afeta apenas o terreno nas células de contorno (onde **bdyMaskCell > 0**).



Campo do terreno mesclado.



Diferença entre o campo de terreno mesclado e o campo de terreno original.



bdyMaskCell (>0 para células amarelo-laranja e azul-roxo)



Condições de Contorno Lateral (LBCs)



Gerando LBCs regionais



Condições de Contorno Lateral (LBCs) para simulações de área limitada são criadas pelo núcleo init_atmosphere com o “init case” 9 [config_init_case=9]:

```
&nhyd_model
config_init_case = 9
config_start_time = '2019-08-31_00:00:00'
config_stop_time = '2019-09-03_00:00:00'
/
&data_sources
config_met_prefix = 'GFS'
config_fg_interval = 10800
config_use_specchumd = false
/
&interpolation_control
config_extrap_airtemp = 'linear'
/
```

À esquerda: As principais opções do namelist a serem definidas ao gerar condições de contorno lateral com o núcleo init_atmosphere.

See Section 8.2 in the User's Guide

Paulo Yoshio Kubota



O stream "input" deve ser configurado para ler de um arquivo com informações da grade vertical.

- Normalmente, isso é feito definindo o **filename_template** para o nome do arquivo de condições iniciais.**

```
<immutable_stream name="input"
                  type="input"
                  filename_template="Belem.init.nc"
                  input_interval="initial_only" />
```

- Também use um nome de arquivo diferente para o **output filename_template**.**

```
<immutable_stream name="output"
                  type="output"
                  filename_template="other.init.nc"
                  input_interval="initial_only" />
```



O "output_interval" para o stream "lbc" também deve ser configurado no arquivo **streams.init_atmosphere**.

- Esse intervalo deve corresponder ao config_fg_interval do arquivo **namelist.init_atmosphere**, assim como aos dados processados pelo **ungrib**.

```
<immutable_stream name="lbc"  
                  type="output"  
                  filename_template="lbc.$Y-$M-$D_$h.$m.$s.nc"  
                  filename_interval="output_interval"  
                  packages="lbcs"  
                  output_interval="3:00:00" />
```

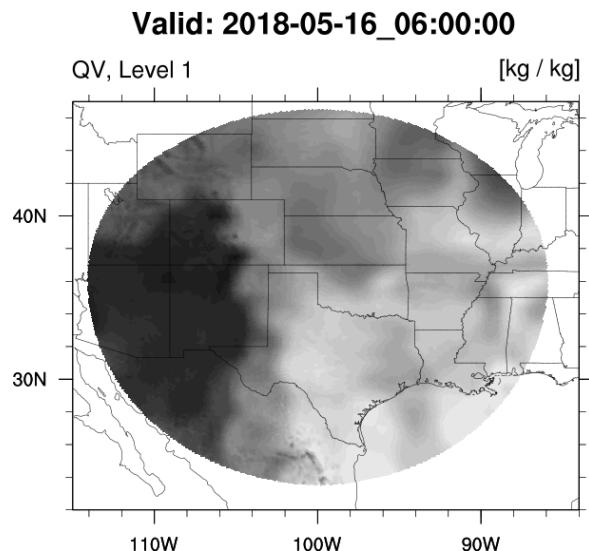
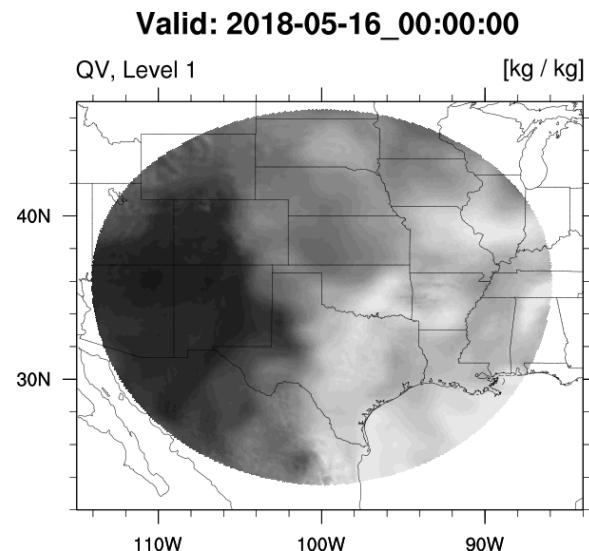
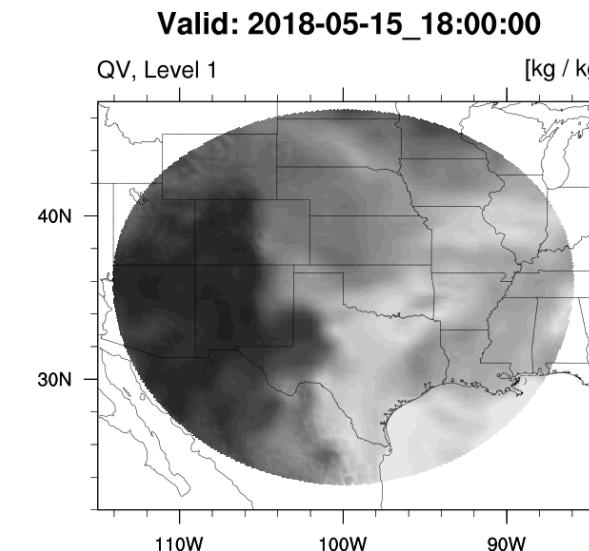
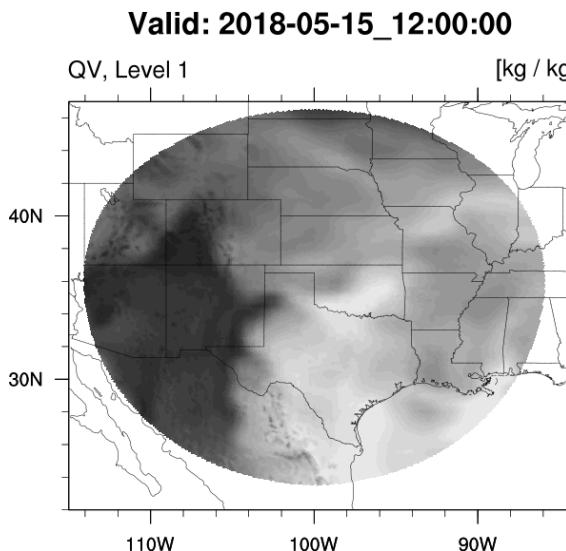
Acima: Uma definição típica do stream "lbc" para o núcleo **init_atmosphere**. Além do **output_interval**, também pode-se alterar o **filename_template**.

lbc.2019-08-31.00.00.00.nc

O que há em um arquivo LBC?

Os arquivos LBC individuais no formato netCDF contêm campos completos e não acoplados de:

- **Temperatura potencial** (**lbc_theta**)
- **Densidade seca** (**lbc_rho**)
- **Componente normal dos ventos horizontais nas arestas** (**lbc_u**)
- **Velocidade vertical nas interfaces verticais das células** (**lbc_w**)
- **Escalares** (**lbc_qv, lbc_qc, lbc_qr, etc.**)
- **Tempo de validade dos campos** (**xtime**)



Esses campos são interpolados e escritos em:

T_0 ,

$T_0 + Dt_{LBC}$,

$T_0 + 2Dt_{LBC}$,

$T_0 + 3Dt_{LBC}$

Paulo Yoshiro Kubota



Aplicando LBCs durante a simulação



Ao executar o núcleo da atmosfera (ou seja, o próprio modelo), habilite a aplicação das condições de contorno lateral no arquivo `namelist.atmosphere`:

```
&limited_area
    config_apply_lbcs = true
/
```

Acima: A única opção do `namelist` necessária para "ativar" uma simulação regional no MPAS v7.0

Se `config_apply_lbcs` não estiver definido como `true` para uma simulação regional, o modelo irá parar com o seguinte erro:

```
ERROR: Boundary cells found in the bdyMaskCell field, but config_apply_lbcs = false.
ERROR: Please ensure that config_apply_lbcs = true for limited-area simulations.
ERROR: Please correct issues with the model input fields and/or namelist.
```



Aplicando LBCs durante a simulação



Além disso, defina o "input_interval" para o stream "lbc_in" no arquivo streams.atmosphere.

- O intervalo não deve ser mais frequente do que o intervalo em que os arquivos LBC foram produzidos!**

```
<immutable_stream name="lbc_in"
                  type="input"
                  filename_template="lbc.$Y-$M-$D_$h.$m.$s.nc"
                  filename_interval="input_interval"
                  packages="limited_area"
                  input_interval="3:00:00" />
```

Se o "input_interval" for menor do que o intervalo dos arquivos LBC, o modelo irá parar com um erro como:

ERROR: Could not read from 'lbc_in' stream after the current date to update lateral boundary tendencies

ERROR: Failed to process LBC data at next time after 2019-08-31_00:00:00



Running Regional MPAS



Preparing a MPAS-A Simulation - Run Directory Example

Para executar, você precisará de:

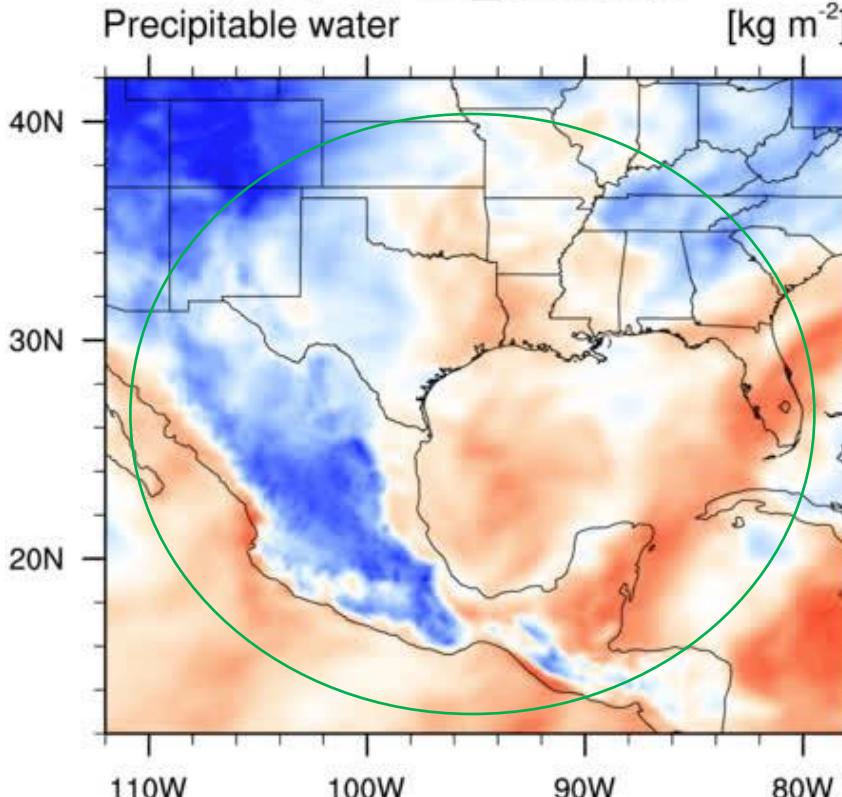
- o executável **atmosphere_model**
- as **tabelas** de consulta de física necessárias
- um arquivo **x1.*.init.nc** descrevendo a malha e as condições **iniciais/contorno**
- **namelist.atmosphere**
- **streams.atmosphere**
- e **stream_list.atmosphere.*** para aqueles que os utilizam (por exemplo, saída ou diagnósticos)
- **arquivo de partição de gráfico** para o número de ranks a ser utilizado

```
(base) [paulo.kubota@headnode GFS]$ ls
atmosphere_mode1          1bc.2024-05-14_03.00.00.nc  1bc.2024-05-16_00.00.00.nc  stream_list.atmosphere.diagnostics
Be1em.65536002.init.nc    1bc.2024-05-14_06.00.00.nc  VEGPARM.TBL           stream_list.atmosphere.output
CAM_ABS_DATA.DBL          1bc.2024-05-14_09.00.00.nc  RRTMG_LW_DATA         stream_list.atmosphere.surface
CAM_AEROPT_DATA.DBL       1bc.2024-05-14_12.00.00.nc  RRTMG_LW_DATA.DBL      streams.atmosphere
GENPARM.TBL               1bc.2024-05-14_15.00.00.nc  RRTMG_SW_DATA        Vtable.ERA-interim.p1
LANDUSE.TBL              1bc.2024-05-14_18.00.00.nc  MP_THOMPSON_freezeH2O_DATA.DBL
1bc.2024-05-13_00.00.00.nc 1bc.2024-05-14_21.00.00.nc  MP_THOMPSON_QIautQS_DATA.DBL
1bc.2024-05-13_03.00.00.nc 1bc.2024-05-15_00.00.00.nc  MP_THOMPSON_QRacrQG_DATA.DBL
1bc.2024-05-13_06.00.00.nc 1bc.2024-05-15_03.00.00.nc  MP_THOMPSON_QRacrQS_DATA.DBL
1bc.2024-05-13_09.00.00.nc 1bc.2024-05-15_06.00.00.nc  namelist.atmosphere
1bc.2024-05-13_12.00.00.nc 1bc.2024-05-15_09.00.00.nc  OZONE_DAT.TBL
1bc.2024-05-13_15.00.00.nc 1bc.2024-05-15_12.00.00.nc  OZONE_LAT.TBL
1bc.2024-05-13_18.00.00.nc 1bc.2024-05-15_15.00.00.nc  OZONE_PLEV.TBL
1bc.2024-05-13_21.00.00.nc 1bc.2024-05-15_18.00.00.nc  RRTMG_SW_DATA.DBL
1bc.2024-05-14_00.00.00.nc 1bc.2024-05-15_21.00.00.nc  SOILPARM.TBL
```

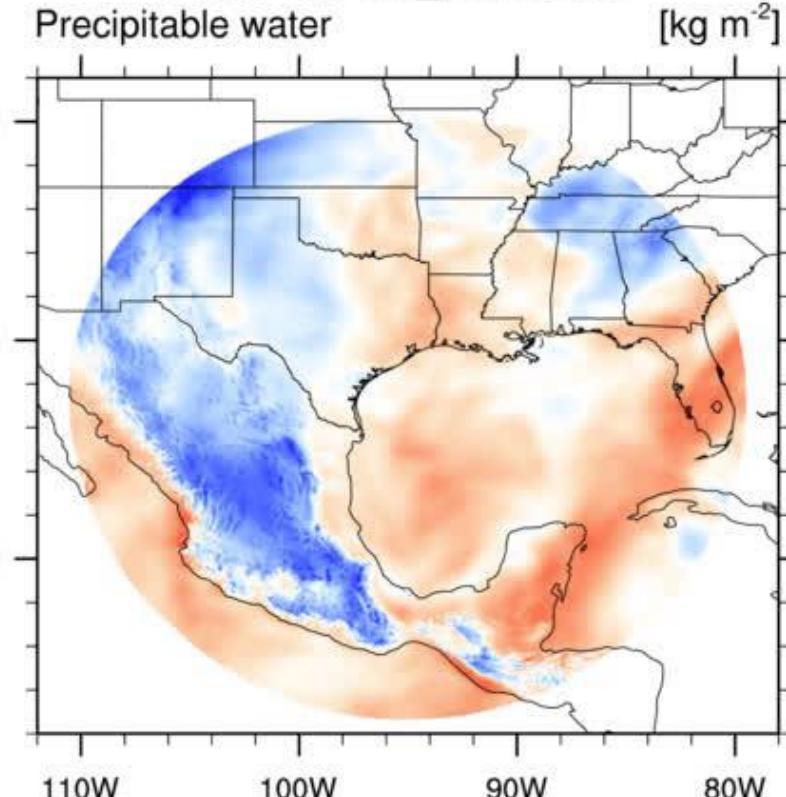
Exemplo de simulação:



**MPAS 60-15km global
2017-08-21_00:00:00**



**MPAS 3-km regional
2017-08-21_00:00:00**



Não precisa rodar um domínio global com resolução variável de 16km para 3km.

Para reduzir os custos pode-se utilizar um domínio regional de 3km

Acima: campo de água precipitável de uma simulação global de resolução variável de 6 dias ao lado de uma simulação regional de 6 dias.



Atenção com pós-processamento



CONVERT_MPAS

Atenção com pós-processamento



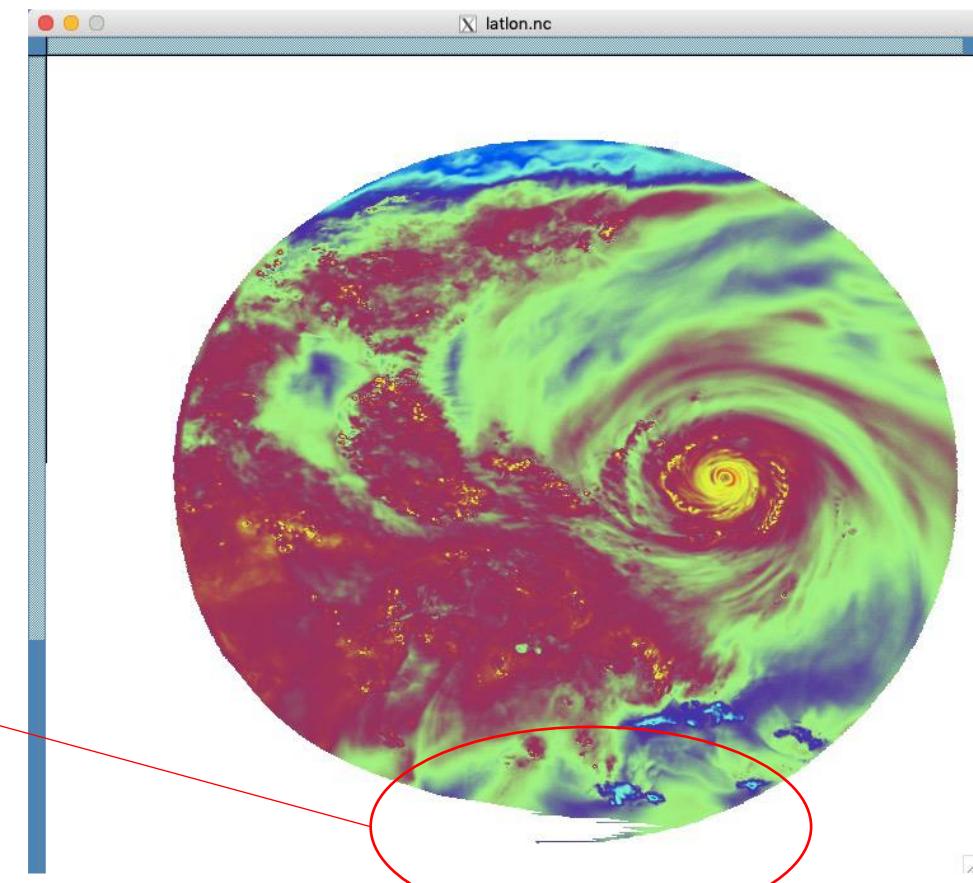
Atenção com pós-processamento



Malhas de área limitada não são tratadas muito bem pelo programa `convert_mpas...`

- O "borramento" ou "arrastamento" é certamente um artefato (artifício) de interpolação e não um problema nos campos do seu modelo
- Precisamos corrigir isso!

Esses são **artifício** de interpolação produzidos pelo programa `convert_mpas` até o momento deste tutorial...





**Melhores práticas são necessárias
para realizar uma simulação
regional**



Melhores práticas são necessárias:

- 1. O tamanho do domínio regional deve ser grande o suficiente para permitir o desenvolvimento da verdadeira solução do modelo.**

- 2. Escolha dados de forçamento com melhor resolução horizontal e vertical sempre que possível.**

- 3. Escolha dados de forçamento com frequência temporal mais alta para as condições de contorno lateral.**



VERSÃO PRÉ-OPERACIONAL DO MODELO MONAN.

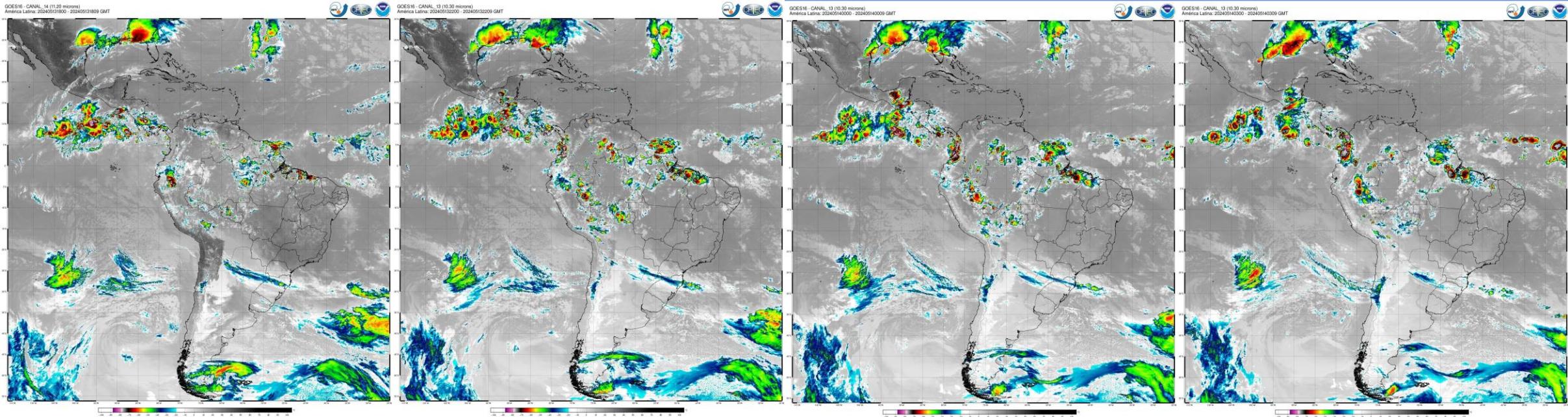


Configuração do modelo	Especificação
Resolução espacial	24 km
Numero de camada vertical	55
Condição Inicial	GFS
Condição de contorno	SST-ICE-fixo para previsão de 10 dias

Parametrização	Esquemas
Convecção	GF (Grell-Freitas)
Microfísica	WSM6
Superfície Continental	Noah
Camada Limite	YSU (Yonsei University)
Camada Limite Superficial	MONIN-Obukhov
Radiação	RRTMG
Fração de Nuvens	Xu-Randall
Arrasto de onda de gravidade	YSU (Yonsei University)



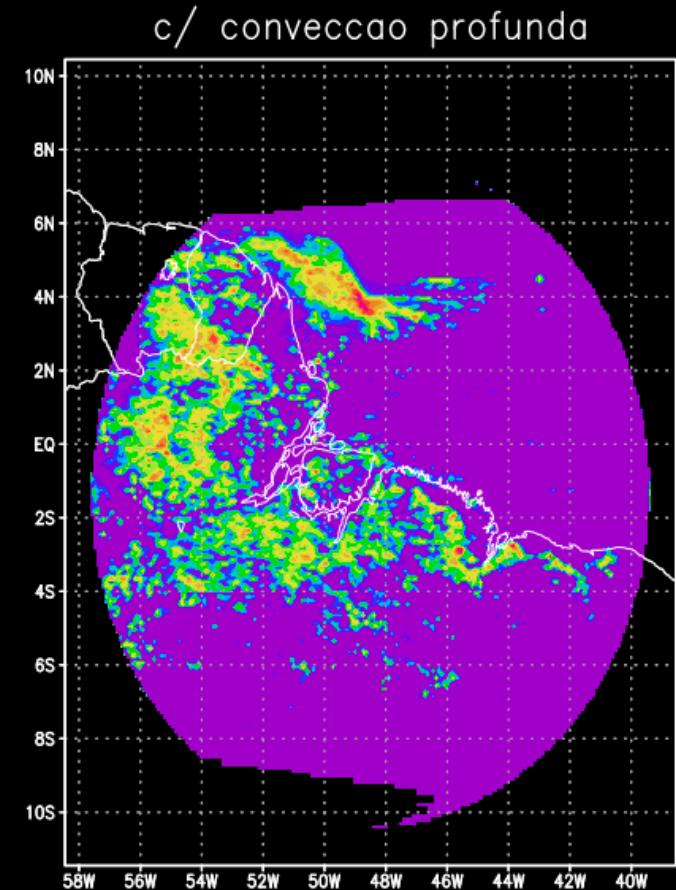
VERSÃO PRÉ-OPERACIONAL DO MODELO MONAN.



Paulo Yoshio Kubota

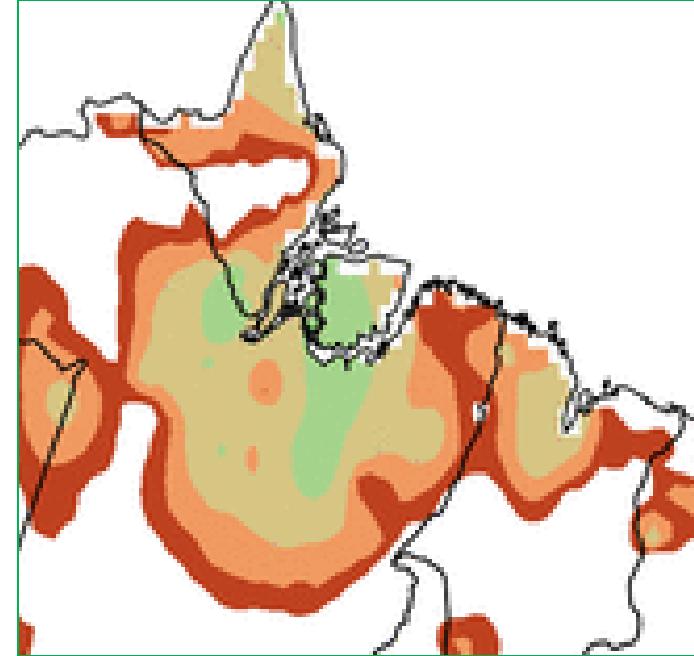


VERSÃO PRÉ-OPERACIONAL DO MODELO MONAN.



2024-05-27-14:19

GrADS/COLA



Paulo Yoshio Kubota



VERSÃO PRÉ-OPERACIONAL DO MODELO MONAN.

