



sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/02.05.11.33-MAN

O PRÉ-PROCESSAMENTO DO BRAZILIAN ATMOSPHERIC MODEL (BAM) DO CPTEC/INPE - VERSÃO 1 (TEORIA)

Paulo Yosio Kubota
José Paulo Bonatti
Dayana Castilho de Souza
Renata Weissmann Borges Mendonça
Bárbara A. G. P. Yamada
Silvio Nilo Figueiroa

Divisão de Modelagem e Desenvolvimento – DMD
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SME6J2>

INPE
São José dos Campos
2019

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GBDIR)
Serviço de Informação e Documentação (SESID)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):**

Presidente:

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/02.05.11.33-MAN

O PRÉ-PROCESSAMENTO DO BRAZILIAN ATMOSPHERIC MODEL (BAM) DO CPTEC/INPE - VERSÃO 1 (TEORIA)

Paulo Yosio Kubota
José Paulo Bonatti
Dayana Castilho de Souza
Renata Weissmann Borges Mendonça
Bárbara A. G. P. Yamada
Silvio Nilo Figueiroa

Divisão de Modelagem e Desenvolvimento – DMD
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SME6J2>

INPE
São José dos Campos
2019



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

1. Introdução

Este relatório técnico documenta aspectos teóricos da versão 1.0 do pré-processamento do modelo de circulação geral atmosférico (MCGA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Este MCGA é definido como Brazilian Atmospheric Model (BAM).

O pré-processamento do BAM foi desenvolvido pelos grupos de Modelagem Global (MG) e Processamento de Alto Desempenho (PAD) da Divisão de Modelagem e Desenvolvimento (DMD) do CPTEC/INPE, sob a coordenação e supervisão dos doutores José Paulo Bonatti e Jairo Panetta, como parte do projeto de reformulação do antigo MCGA, onde novas opções de integração e tipos de grade foram implementadas ao modelo global.

Esta versão do pré-processamento do BAM, denominada PRÉ-PROCESSAMENTO, inclui alterações na nomenclatura dos arquivos espectrais de entrada do modelo e dos arquivos gerados em ponto de grade, bem como no formato destes arquivos de saída e reformulação da estrutura de execução das subrotinas que compõem este novo procedimento.

Na seção 2 deste documento são apresentadas as modificações referentes à nomenclatura e o formato dos arquivos de entrada e saída do modelo. Uma descrição detalhada dos dados climatológicos, das subrotinas de execução desta nova versão do pré-processamento do BAM é apresentada na seção 3. Na última seção é apresentado um guia de usuário sobre a instalação, configuração e execução do PRÉ-PROCESSAMENTO.

2 - Estrutura do modelo

O modelo BAM foi dividido em 3 etapas de processamento do modelo: pré, model, e pós, onde cada uma das partes foram colocadas em um estrutura de diretório para facilitar a compreensão e a manipulação do programa. Esta divisão é mostrada na Figura 1.

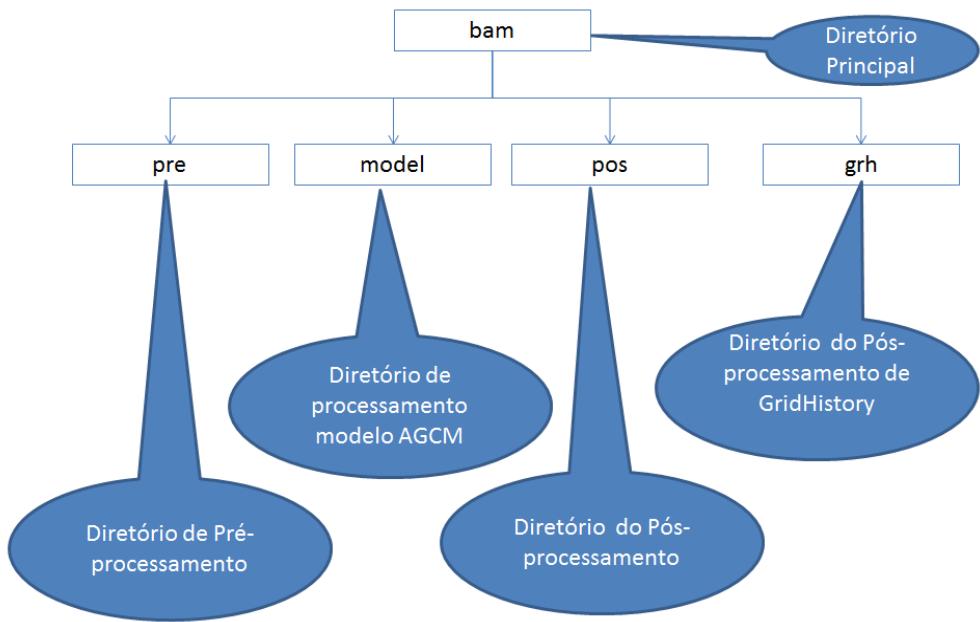


Figura 1 - Estrutura de diretórios do modelo BAM.

2.1 – Etapa de processamento Pré

O pré-processamento é um conjunto de subroutines que realiza a interpolação de várias condições de contorno e iniciais, para a resolução na qual o modelo BAM será executado. Este bloco da divisão do modelo é composto por sub-blocos (diretórios, sources, scripts, exec, datain, dataout, databcs, datasst e dataco2) que está ilustrado na Figura 2, cada um do sub-bloco tem uma finalidade específica. O sub-bloco sources contém as subroutines do pré-processamento dos vários conjuntos de dados que são utilizados no modelo BAM, no sub-bloco scripts estão os bash-scripts utilizados na execução das subroutines do pré-processamento, o sub-bloco exec é onde serão criados os executáveis do pré-processamento quando compilados no diretório sources, o sub-bloco datain é onde deve ser colocada a análise que será utilizada como condição inicial do modelo BAM, o sub-bloco dataout é onde as subroutines do pré-processamento irão colocar os arquivos pré-processados. A finalidade destes arquivos são somente para

analisar se o pré-processamento foi realizado corretamente, não sendo utilizado pelo modelo BAM durante a sua execução, o sub-bloco databcs é onde contém os arquivos fixos que serão utilizados como condição de contorno e inicial para o modelo BAM, o sub-bloco (diretório) datasst contém os arquivos de temperatura de superfície do mar observada na frequência diária e mensal, o sub-bloco dataco2 contém os dados globais de emissão de co₂, estes dados são para a superfície do mar e emissão antropogênica sobre os continentes.

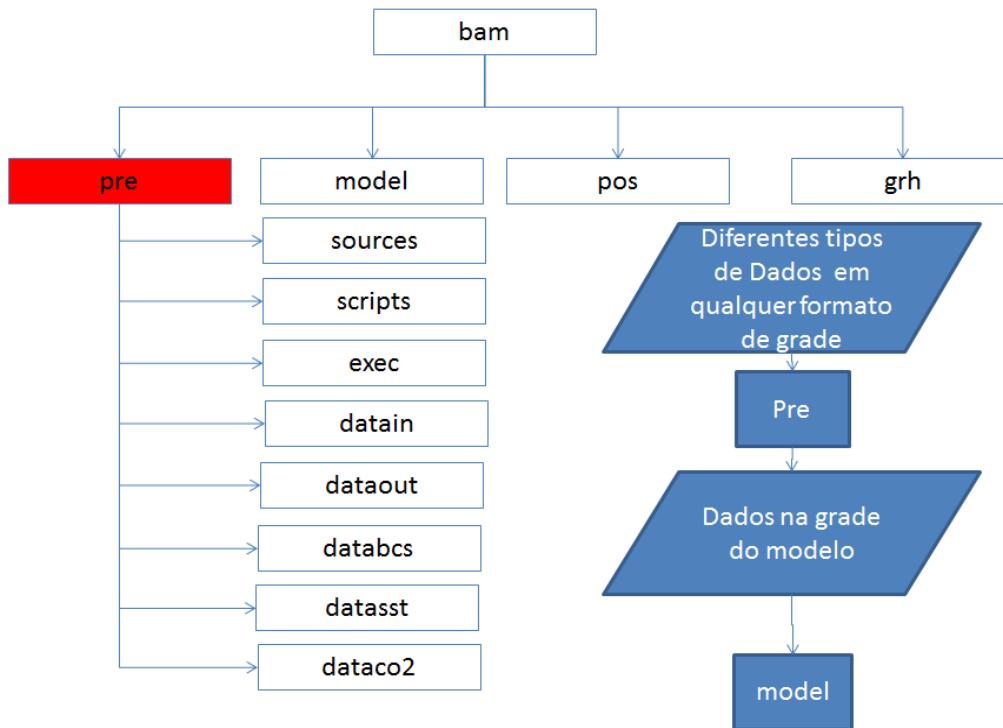


Figura 2 - Estrutura de diretório do pré-processamento do modelo BAM.

Detalhando o sub-bloco sources observa-se a existência de uma nova subdivisão (53 diretórios) onde cada uma das sub-rotinas do pré-processamento é alocado na sua respectiva subdivisão de acordo com a Figura 3. No sub-bloco sources é realizada a compilação das sub-rotinas. A configuração dos compiladores está pré-definida no diretório makefiles, portanto, na linha de comando o usuário escolhe a opção de compilador que desejar. As modificações que o usuário realizar em cada sub-bloco deverá ser compilado para atualizar os executáveis do pré-processamento.

Para manter a padronização do pré-processamento, as futuras implementações devem seguir o mesmo procedimento das sub-rotinas já existentes.



Figura-3 Sub-blocos das subrotinas do pré-processamento do modelo BAM.

No sub-bloco (diretório) scripts estão os bash-scripts para executar as sub-rotinas do pré-processamento (Figura 4). Pode-se verificar na Tabela 1 que para cada uma das sub-rotinas existe um bash-script responsável pela sua execução.

O padrão bash foi adotado baseado nos sistemas operacionais Linux, pois estes sistemas utilizam o bash como padrão em suas distribuições. Assim, a maioria dos usuários que utilizam o sistema operacional Linux não terão problemas para manipular os bash-scripts, utilizados para executar o pré-processamento do modelo BAM.

Os scripts estão preparados para utilizar as ferramentas de submissão de Jobs, geralmente implementados em clusters e supercomputadores. Portanto, para a sua utilização direta no sistema operacional Linux são necessárias algumas modificações simples.

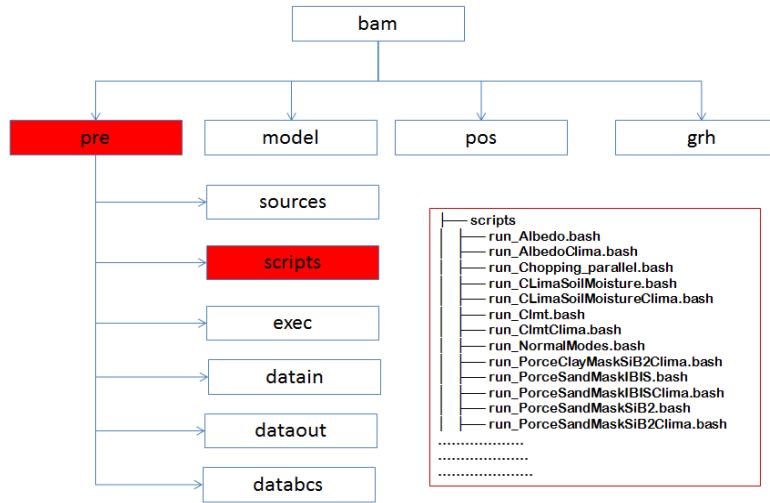


Figura 4 - Conteúdo do sub-bloco scripts.

Tabela -1 Scripts de execução do pré-processamento

run_VegetationAlbedoSSiB.bash run_CLimaSoilMoisture.bash run_NormalModes.bash run_SSTMonthlyDirec.bash run_VegetationMask.bash run_CLimaSoilMoistureClima.bash run_PorceClayMaskIBIS.bash run_SSTWeekly.bash run_VegetationMaskIBIS.bash run_CO2MonthlyDirec.bash run_PorceClayMaskIBISClima.bash run_SSTWeeklyNCEP.bash run_VegetationMaskIBISClima.bash run_Chopping_parallel.bash run_PorceClayMaskSiB2.bash run_SnowClima.bash run_VegetationMaskSSiB.bash run_Chopping_serial.bash run_PorceClayMaskSiB2Clima.bash run_SoilMoisture.bash run_VegetationMaskSiB2.bash run_Clmt.bash run_PorceSandMaskIBIS.bash run_SoilMoistureClima.bash run_VegetationMaskSiB2Clima.bash	run_ClmtClima.bash run_PorceSandMaskIBISClima.bash run_SoilMoistureWeekly.bash run_DeepSoilTemperature.bash run_PorceSandMaskSiB2.bash run_SoilMoistureWeeklyCPTEC.bash run_DeepSoilTemperatureClima.bash run_PorceSandMaskSiB2Clima.bash run_SoilTextureMaskSiB2.bash run_DeltaTempColdest.bash run_RoughnessLength.bash run_SoilTextureMaskSiB2Clima.bash run_DeltaTempColdestClima.bash run_RoughnessLengthClima.bash run_TopoSpectral.bash run_FLUXCO2Clima.bash run_SNOWWeekly.bash run_TopoWaterPercNavy.bash run_LandSeaMask.bash run_SNOWWeeklyNCEP.bash run_TopographyGradient.bash run_Albedo.bash run_NDVI.bash run_SSTClima.bash run_VarTopo.bash
--	---

run_NDVIClma.bash	run_AlbedoClima.bash run_SSTDailyDirec.bash
-------------------	--

A finalidade do sub-bloco (diretório) exec é armazenar os executáveis das sub-rotinas do pré-processamento e os namelist contendo os parâmetros para a execução das sub-rotinas do pré-processamento do BAM (Figura 5).

Os executáveis são criados através do comando de compilação “make”, que deve ser executado no sub-bloco (diretório) sources. Este comando irá compilar cada sub-rotina e posteriormente mover os seus executáveis para o sub-bloco (diretório) exec.

Durante a execução do pré-processamento, os namelist são criados com todos os parâmetros necessários para criar os arquivos de entrada do modelo BAM. Estes arquivos são criados na resolução que o modelo será executado.

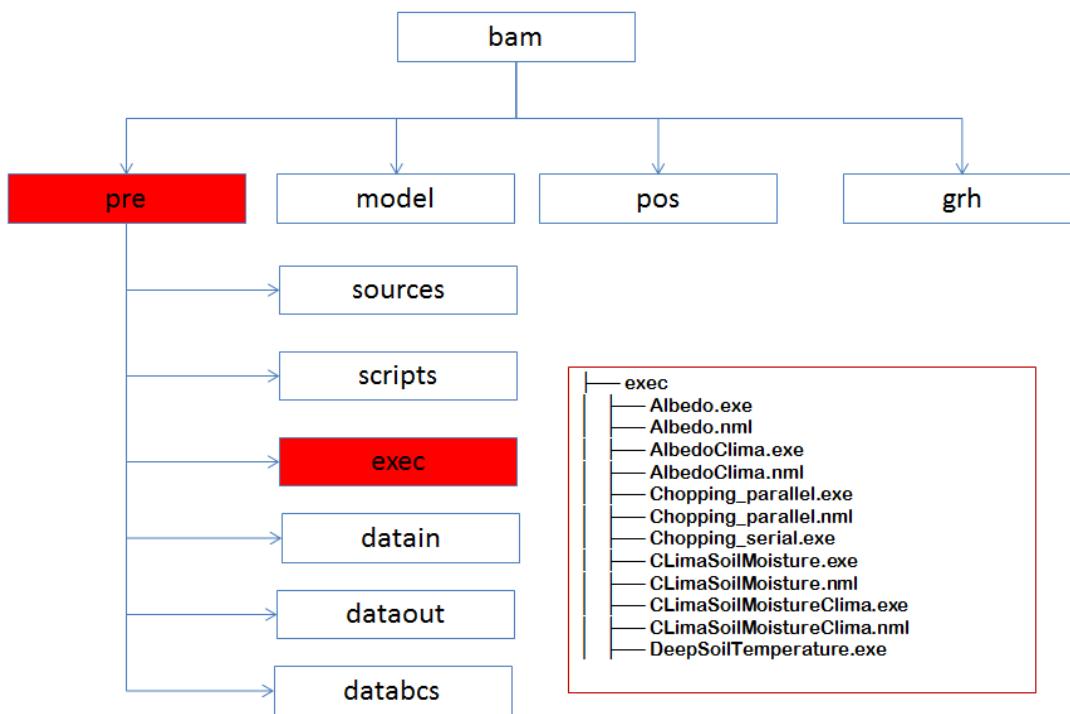


Figura 5 - Conteúdo do Sub-bloco exec.

No sub-bloco (diretório) datain é onde estão os dados de análise (estado da atmosfera para um determinado instante de tempo) e os arquivos dos níveis verticais. Todos os dados de análise pré-processados devem ser colocados neste sub-bloco, este arquivo será interpolado na resolução em que o modelo será executado.

Os arquivos contendo a resolução vertical são utilizados como referência para a interpolação vertical das análises. Nestes arquivos estão especificados os delta sigmas (espessura das camadas em coordenada sigma). Para executar o modelo são disponibilizados 6 arquivos padrões com diferentes números de camadas (Figura 6).

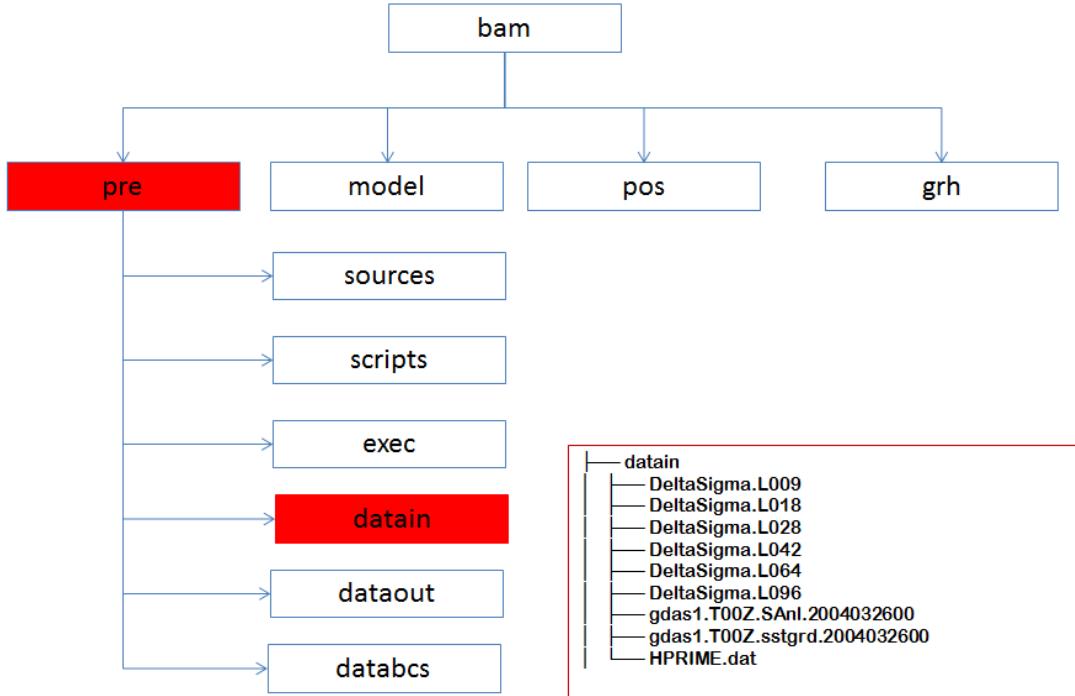


Figura 6 - Conteúdo do Sub-bloco datain.

O sub-bloco (diretório) datasst tem uma nova subdivisão de sub-blocos oiv2daily e oiv2monthly (Figura 7). O sub-bloco oiv2daily contém uma série temporal longa de dados observados de temperatura de superfície do mar, estes dados possuem uma frequência diária. No sub-bloco oiv2monthly é colocada uma série temporal longa de dados observados de temperatura de superfície do mar, porém possuem em uma frequência mensal. Os dois sub-blocos contém um arquivo de namelist específico que lista toda a série temporal dos dados observados. Este arquivo é utilizado pelo pré-processamento como parâmetro para a leitura sequencial cronológica dos dados de temperatura de superfície mensal e diária. Estes dados são essenciais para as simulações climáticas longas, o modelo utiliza estes dados como condição de contorno inferior do modelo atmosférico sobre os oceanos, onde o modelo não é acoplado a um modelo oceânico. A temperatura de superfície do mar usada como condição de contorno

inferior sobre o oceano é disponibilizada pela NOAA no site http://www.emc.ncep.noaa.gov/research/cmb/sst_analysis/

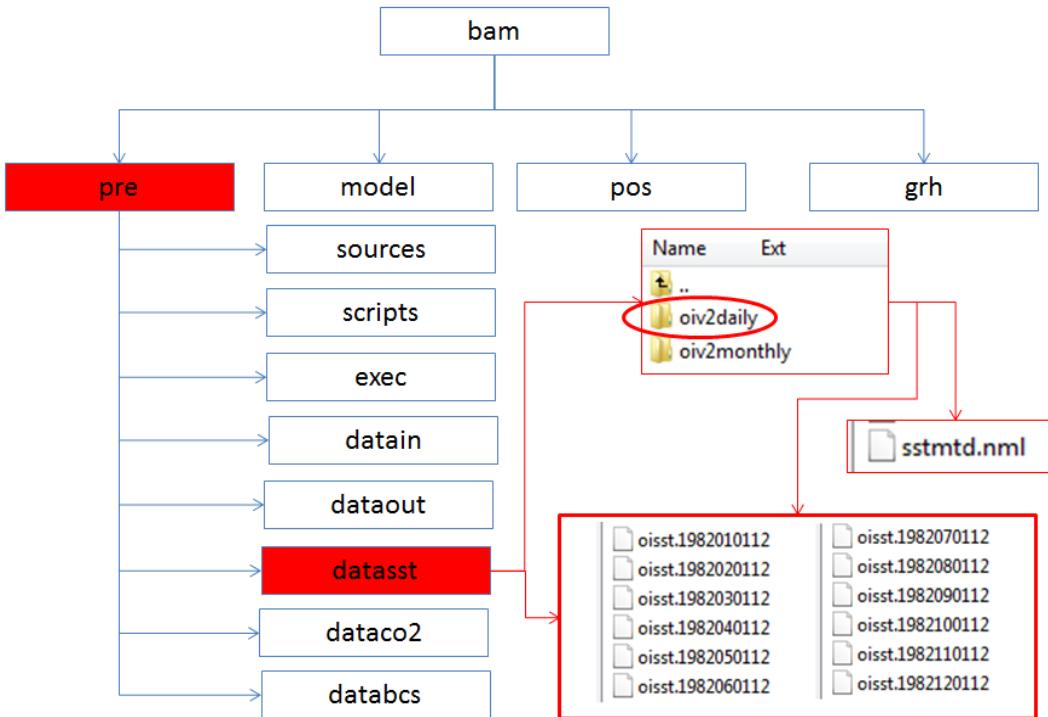


Figura 7 - Conteúdo do Sub-bloco `datasst`.

Seguindo a mesma filosofia do sub-bloco `datasst`, o `dataco2` é utilizado para alojar os dados de emissão de CO₂ da superfície para a atmosfera. Este conjunto de dados de emissão de CO₂ é estimado através de observações em campo e utilizando os dados de modelagem numérica para compor toda a série temporal. A utilização deste conjunto de dados é para simulação longa de sensibilidade climática, porém pode ser utilizado para previsão sazonal. A Figura 8 mostra a estrutura do pré-processamento para os dados de CO₂.

Para a criação de um banco dados de emissão de CO₂ na superfície oceânica e terrestre (natural e antropogênico), levou-se em consideração os seguintes fatores: o modelo de superfície continental do BAM não possui parametrização de emissão de CO₂ associado a atividade antropogênica, apenas emissão natural. Sendo assim, uma das etapas do trabalho é inserir no modelo a emissão antropogênica de CO₂ do banco de dados do Carbon Dioxide Information Analysis Center, disponível em <http://cdiac.ornl.gov>.

Estas emissões antropogênicas de CO₂ são baseadas em estatísticas sobre queima de combustíveis fósseis, produção de cimento, queima de gás em campos de petróleo,

produção e consumo de energia, e dados de comércio no período de 1750 a 2010 (BODEN et al. 2015). Estes dados tem resolução horizontal de $1^\circ \times 1^\circ$ grau em uma grade regular de latitude-longitude e a unidade de concentração de CO₂ é de milhões de toneladas de carbono por ano.

Com relação à emissão de CO₂ na superfície oceânica, será utilizado um conjunto de dados de fluxos de CO₂ descrito no sítio da Carbon Dioxide Research Group do Earth Observatory of Columbia University (<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/CO2/>). Estes dados são obtidos de estimativas da diferença de pressão parcial de CO₂ entre o ar e a superfície do oceano e da taxa de troca deste gás, parametrizado em função da velocidade do vento.

Os dados de fluxo de CO₂ são climatológicos e distribuídos espacialmente sobre águas superficiais dos oceanos em condições climáticas sem a ocorrência do fenômeno El Niño. Os dados apresentam resolução espacial horizontal de $4^\circ \times 5^\circ$ graus de latitude-longitude, sendo baseado em aproximadamente 3 milhões de medições em águas superficiais obtidos a partir de 1970 até 2009.

Os dados de emissão de CO₂ disponíveis e citados acima estão em unidade de gramas de carbono (gC), a conversão dos dados da unidade de gramas de carbono para unidade de mol de CO₂, será realizado considerando o fator de multiplicação de 0.083, considerando que 1gC corresponde a 0.083mol de CO₂.

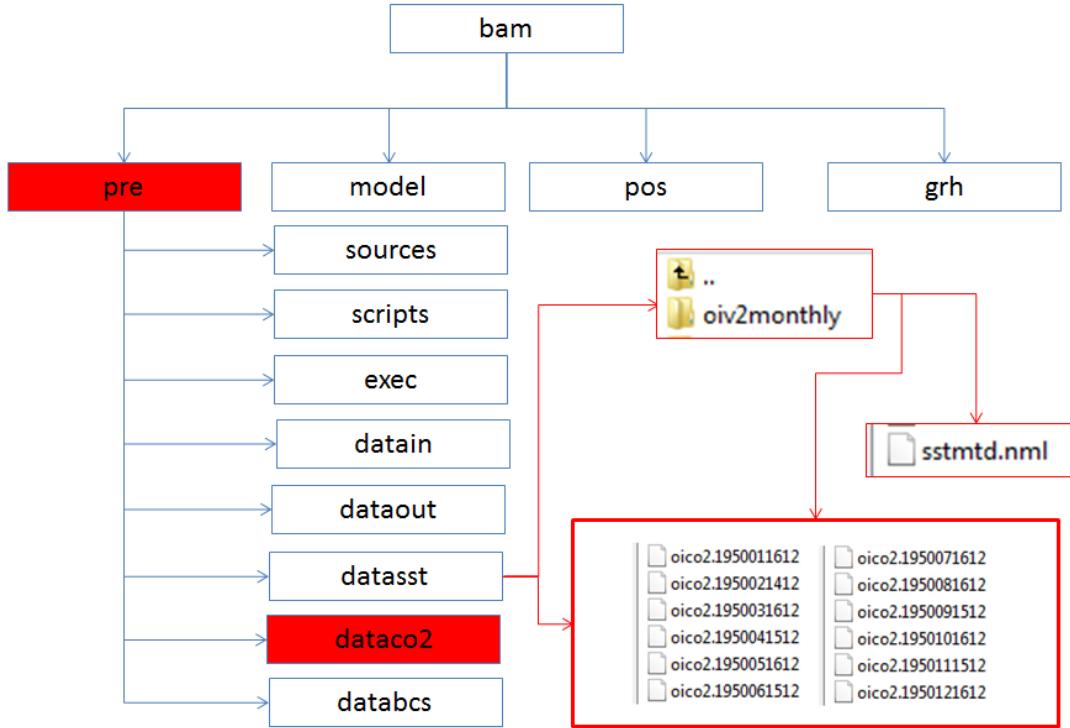


Figura 8 - Conteúdo do Sub-bloco dataco2.

O sub-bloco (diretório) databcs (Figura 9) é onde estão os arquivos fixos utilizados como condição de contorno ou condição inicial para as diferentes parametrizações existentes no modelo BAM. Estes arquivos contêm diferentes tipos de campos (meteorológicos, fisiologia vegetal e solo etc.), cada arquivo possui diferentes tipos de formatos e resolução horizontal, portanto, necessitam de um tratamento de interpolação específico para cada tipo de campo. Este processamento é realizado pelas sub-rotinas presentes no sub-bloco sources onde estão diferentes formas de interpolação.

Para uma melhor compreensão de quais campos são tratados no pré-processamento é listado na Tabela 2 os arquivos presentes no sub-bloco databcs e sua descrição.

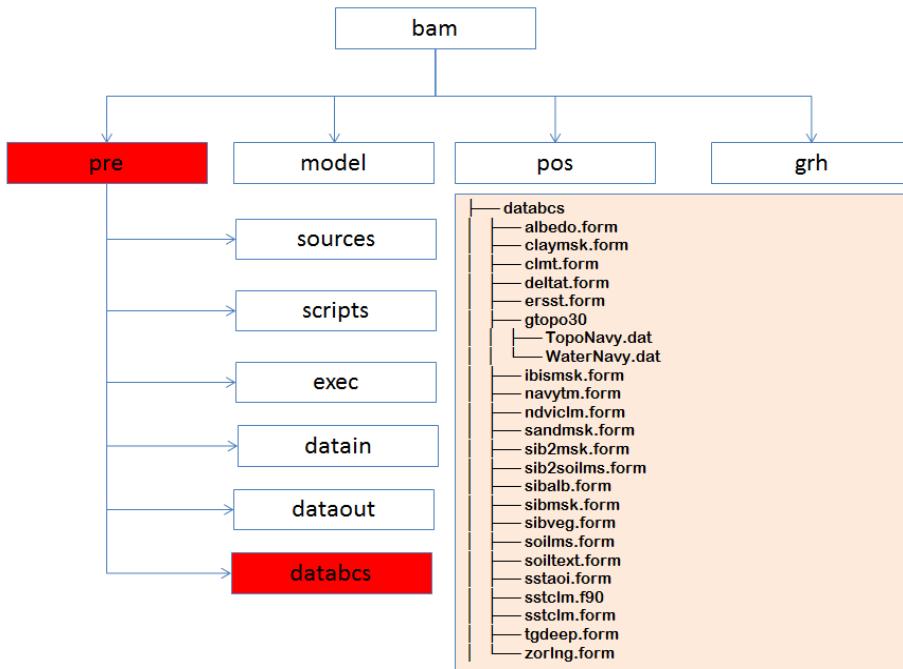


Figura 9 - Os arquivos fixos utilizados como condição de contorno para o modelo BAM

Tabela-2 Arquivos de condição de contorno fixos utilizado pelo BAM.

sibmsk.form	Máscara de vegetação global contendo os biomas utilizados pelo modelo SSiB
sib2msk.form	Máscara de vegetação global contendo os biomas utilizados pelo modelo SiB-2.5
ibismsk.form	Máscara de vegetação global contendo os biomas utilizados pelo modelo IBIS-2.6
sandmsk.form	Máscara global de percentagem de areia utilizado pelo modelo IBIS-2.6
claymsk.form	Máscara global de percentagem de argila utilizado pelo modelo IBIS-2.6
soiltext.form	Máscara global de classe de solo utilizado pelo modelo IBIS-2.6
ndviiclsm.form	Climatologia global de NDVI (%) utilizado pelo modelo SiB-2.5
navytm.form	Lat - Northern Most Colatitude of Grid Box (5 Dg X 5 Dg) Lon - Western Most Longitude itop(1,i,j) - Is the Normalized Topography: Must Be Between 100 and 320 itop(2,i,j) - Is The Percentage of Water:Must Be Between 0 and 100
sibalb.form	Parâmetros relacionado ao cálculo de albedo de superfície e áreas vegetadas utilizado no modelo de superfície SSiB

sibveg.form	Parâmetros relacionados ao cálculo de propriedades físicas e fisiológicas da vegetação utilizado no modelo de superfície SSIB
tgdeep.form	To Read Formatted Climatological DeepSoilTemp Data
zorlng.form	Climatological RoughLength Data
albedo.form	Climatological Albedo Data
sstaoi.form	Climatological Sea Surface Temperature Data
soilmgs.form	Climatological Soil Moisture Data
sib2soilmgs.form	Climatological Sea Surface Temperature Data
FluxCO2.bin	Climatological Sea Surface Co2 Flux Data
clmt.form	Climatological 2 meters Temperature Data

2.2 Nomenclatura e Formato dos Arquivos de Entrada (Pré-processados) e Saída do Modelo

A reformulação do BAM inclui a implementação de novas opções de integração (Semi-Lagrangeana e Euleriana, já existente) e novos tipos de grade (linear e quadrática ou completa e reduzida). Devido a estas inovações, algumas alterações nas nomenclaturas dos arquivos espectrais de entrada do modelo e dos arquivos gerados em ponto de grade foram realizadas, de forma a explicitar a partir destas a configuração utilizada, bem como aperfeiçoar o processamento do modelo.

Na versão antiga, o nome da condição inicial do BAM/INPE é definido como:

GANLprfyyyymmddhhyyyymmddhhS.unf.TtttLnn ,

em que:

- **G** : indica modelo global
- **ANL** : análise
- **prf** : prefixo com três letras (NMC, CPT, SMT, ...)
- **yyyy** : ano com quatro dígitos

- **mm** : mês com dois dígitos
- **dd** : dia com dois dígitos
- **hh** : hora com dois dígitos
- **S** : coordenada vertical sigma
- **unf** : arquivo UNFORMATTED (*)
- **T** : truncamento triangular
- **ttt** : número máximo de ondas zonais no truncamento, três dígitos
- **L** : para indicar camadas verticais (**)
- **nn** : número de camadas com três dígitos

(*) Por questões históricas, existia, na nomenclatura da condição inicial, **fmt** para FORMATTED na década de 1980.

(**) De Layer: a maioria refere como níveis, mas o correto seria referir como camadas. Por exemplo: em L28 há 28 camadas, 27 interfaces, uma superfície e um topo, totalizando 57 níveis.

Nesta versão de PRÉ-PROCESSAMENTO, a composição de futuros nomes de arquivos a serem inseridos na nova versão do BAM deve obedecer:

- 1) Prefixo **prf** para o modelo e adiante (a condição inicial continua da mesma forma e a distinção entre grade linear ou quadrática é dada no sufixo, como indicado em 2):
 - **EUC**: para integração euleriana com grade completa
 - **EUR**: para integração euleriana com grade reduzida
 - **SLC**: para integração semi-lagrangiana com grade completa
 - **SLR**: para integração semi-lagrangiana com grade reduzida
- 2) Sufixo **TtttLnn** muda para **TXtttLnnn** para arquivos espetrais de entrada do modelo e para arquivos gerados a partir daí, mesmo em ponto de grade:
 - **T**: truncamento triangular
 - **X**: **Q** para grade gaussiana **quadrática** ($I_{max} \approx 3*ttt$, $J_{max} = I_{max}/2$) e **L** para grade gaussiana **Linear** ($I_{max} \approx 2*ttt$, $J_{max} = I_{max}/2$).
 - **ttt**: número máximo de ondas zonais no truncamento, quatro dígitos
 - **L**: para indicar camadas verticais

- **nnn:** número de camadas com três dígitos

A necessidade da introdução de **X** no sufixo é justificada pelo fato de que para uma dada resolução espectral, se o dado vier de uma grade quadrática ou linear teríamos uma distinção com nomes diferentes, pois os dados são diferentes. Por exemplo, no caso de coeficientes espetrais com truncamento 254 para topografia: para grade quadrática seriam calculados em grade com 768x384 pontos, enquanto para grade linear, os cálculos seriam com 512x256 pontos, com resultados diferentes, porém com o mesmo número de coeficientes e, portanto, de arquivos.

- 3) Introdução do sufixo **Gjjjjj** no PRÉ-PROCESSAMENTO para arquivos em ponto de grade. Esses arquivos passam a ter o seguinte nome:

NomeBase.Gjjjjj

- **NomeBase** : nome base do arquivo (*)
- **G** : grade gaussiana
- **jjjjj** : Jmax da grade (número de latitudes) com cinco dígitos.

- (*) Os formatos e nomes atuais foram modificados para maior clareza e melhor manipulação de dados de diversas fontes.

O motivo para esta nova filosofia é que, por exemplo, para uma resolução TQ0170, a grade completa corresponde a 512x256 pontos, que é a mesma grade para o TL0254. Então, o mesmo arquivo seria lido por ambas resoluções. Na filosofia atual seriam necessários dois arquivos com nomes diferentes e mesmo conteúdo. Por exemplo, o antigo **tg3zrl.Tttt** (64 bits e binário da máquina) muda para dois arquivos (32 bits IEEE big endian), com os seguintes nomes: **DeepSoilTemperature.Gjjjjj** e **RoughnessLength.Gjjjjj**, para serem lidos pelo modelo, o que acarreta mudanças na leitura atual e implicações no *restart* do modelo.

- 4) Todos os arquivos de saída têm formato 32-bits IEEE, *big endian* e acesso direto, exceto o arquivo espectral de TopoSpectral e Chopping, como descrito abaixo.

3 Dados

O BAM usa uma série de campos climatológicos, com diferentes resoluções e origens, os quais são interpolados e preparados para a resolução do modelo através de um conjunto de programas (subrotinas) que são executados através do PRÉ-PROCESSAMENTO.

Nesta seção é apresentada uma breve descrição dos dados climatológicos, bem como das subrotinas utilizadas para derivar os campos que são necessários para a rodada do modelo.

3.1 Dados de Topografia e Porcentagem de Água

As informações de topografia e porcentagem de água/continente do modelo são derivadas de dois conjuntos de dados de elevação do terreno obtidos do U.S. Navy – Fleet Numerical Oceanography Center (FNOC) e do U.S. Geological Survey's – Earth Resources Observation and Science (EROS) Data Center. As características básicas destes dados são descritas a seguir:

3.1.1 US-Navy 10'

O conjunto de dados do Navy-FNOC começou a ser criado em meados da década de 1960. Posteriormente, estes dados foram reprocessados pelo NCAR e NOAA-NGDC, o qual é o atual distribuidor do “*10minute Global Elevation, Terrain, and Surface Characteristics data*” (US-Navy 10').

Para cada área de 10x10 minutos de graus, o conjunto de dados US-Navy 10' inclui a altura média do terreno, alturas máxima e mínima, número e orientação de picos (*ridges*) significativos, e porcentagem de água e áreas urbanas.

Os dados originais US-Navy 10' são utilizados no modelo para informações da contribuição da topografia subgrade para o comprimento de rugosidade.

No PRÉ-PROCESSAMENTO, os dados de topografia e porcentagem de água são normalizados, de forma que os valores de topografia estejam entre 100 e 320 e os

valores de porcentagem de água entre 0 e 100. Correções também são aplicadas para evitar valores negativos de topografia e valores indesejáveis de temperatura da superfície sobre áreas cobertas com água no continente.

A subrotina **TopoWaterPercNavy.f90** é utilizada para extrair os dados de topografia e porcentagem de água dos dados originais US-Navy 10' (arquivo **navytm.form**) e gerar os arquivos para leitura no GrADS. A Figura 10 mostra o esquema de processamento do arquivo **navytm.form**.

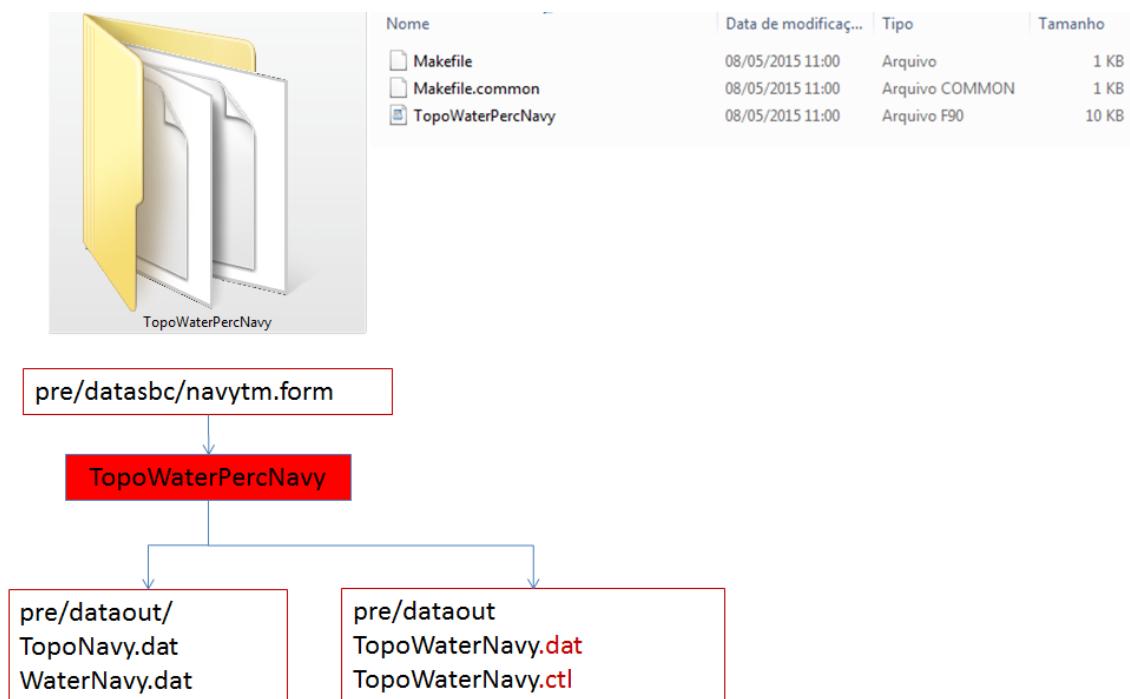


Figura10 - Processamento dos dados de topografia e porcentagem de água.

3.1.2 GTOPO30

O GTOPO30 é um conjunto de dados de elevação do terreno com cobertura global (90°S - 90°N , 180°W - 180°E) e uma grade horizontal de 30 segundos de grau (0.008333333 graus), resultando em um modelo de elevação digital (MED ou *DEM*, em inglês) com dimensões de 21600 linhas e 43200 colunas (GESCH e LARSON, 1998). Os dados

representam a elevação, em metros, acima do nível médio do mar e os valores variam de 407 a 8752 metros. As áreas oceânicas são máscaradas como “sem dados” e codificadas com um valor de -9999 (*undef*). Pequenas ilhas nos oceanos, com áreas inferiores a 1 km² não são representadas pelo MED.

No PRÉ-PROCESSAMENTO, as áreas oceânicas, codificadas como *undef*, assumem valores de 100% para porcentagem de água e 0 para topografia. Sobre o continente, a porcentagem de água é definida como 0% e a topografia varia a partir de um valor mínimo de um metro (1m).

Devido à alta resolução e cobertura global, os conjuntos de dados do GTOPO30 são extensos e difíceis de serem manipulados pelo programa PRÉ-PROCESSAMENTO. Assim, os dados originais têm sido convertidos para uma resolução intermediária de 0.16°, facilitando a utilização pelo PRÉ-PROCESSAMENTO. O conjunto de dados derivados para esta resolução intermediária é composto das variáveis elevação média acima do nível do mar, porcentagem de água/continente.

A Figura 11 mostra a disposição da subrotina **TopoWaterPercGT30.f90** que é utilizada para extrair os dados de topografia e porcentagem de água dos dados originais do Gtopo30, os quais são subdivididos em 33 arquivos correspondentes à regiões (ou faixas de latitude) do globo (arquivos do tipo **ElonNlat.dat**, **WlonNlat.dat**, **ElonSlat.dat** e **WlonSlat.dat**, em que lon e lat indicam a longitude e a latitude do dado) e gerar os arquivos para leitura no GrADS.

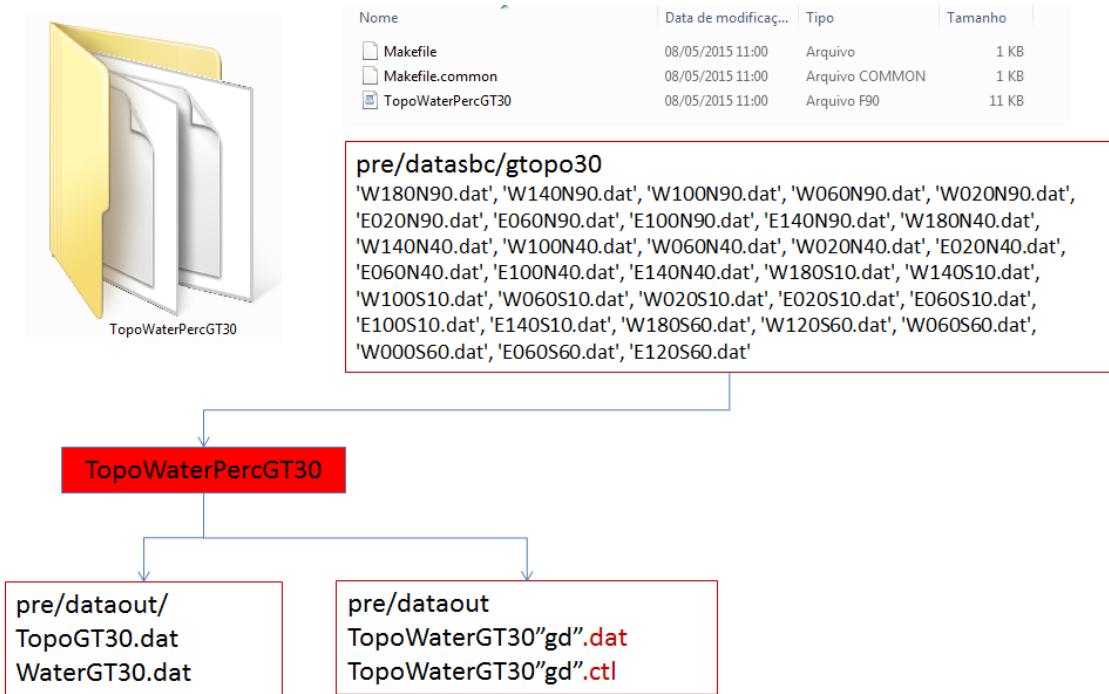


Figura 11 - Processamento dos dados do GTOPO30 de topografia e porcentagem de água.

Informações sobre o formato, distribuição e acurácia deste conjunto de dados de topografia podem ser encontradas na documentação do GTOPO30, disponível em <https://pubs.usgs.gov/of/2006/1150/metadata/topo.htm>

3.2. Máscara Contíntente/Oceano

Em cada ponto de grade do modelo é fornecido um parâmetro de fração de continente, derivados dos dados do US-Navy em 0.16° . O modelo converte este parâmetro em uma máscara, em que áreas continentais recebem o valor 1 e áreas oceânicas valor 0.

A Figura 12 mostra o procedimento da criação da máscara continente/oceano interpolada para a grade gaussiana do modelo, que é gerada a partir da subrotina **LandSeaMask.f90**.

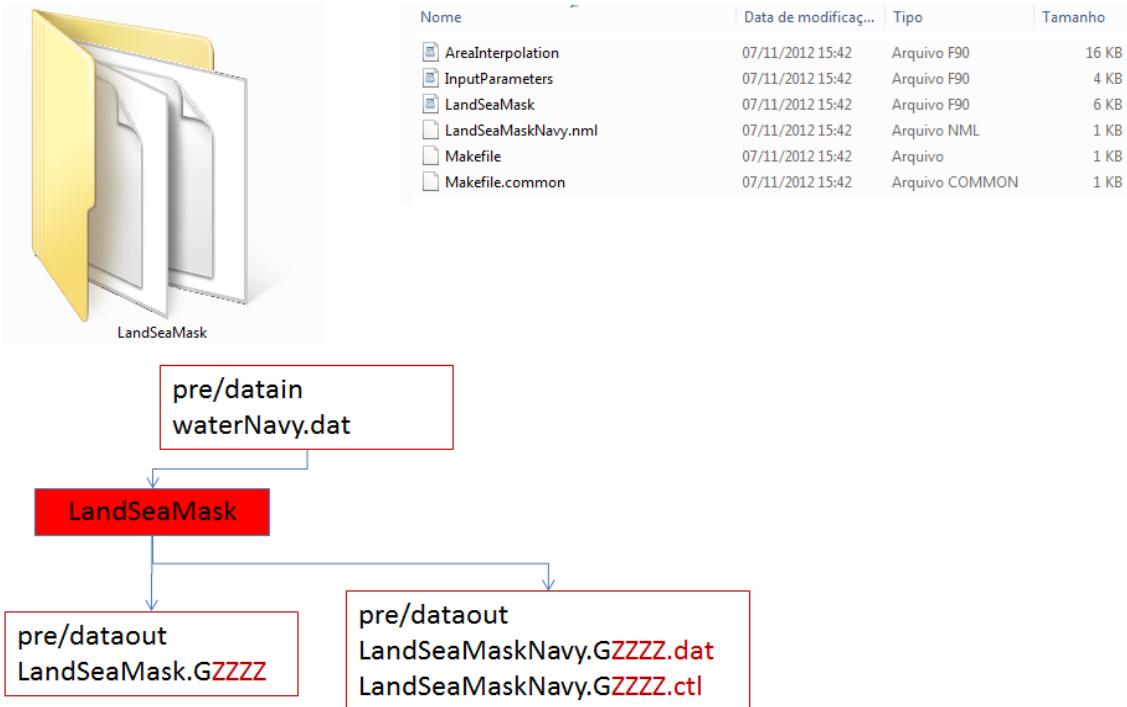


Figura12 -Processamento dos dados waterNavy para criar a máscara continente/oceano

Na Figura 13 estão as saídas do pré-processamento da subrotina LandSeaMask que são os mapas globais da máscara oceano (valor 0) e continente (valor 1) e a porcentagem de agua em cada célula de grade, valores entre 0 e 100 por cento.

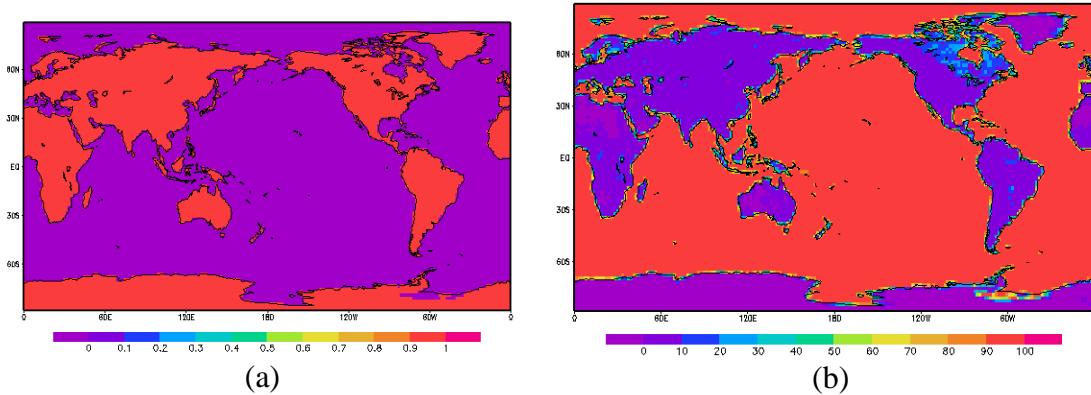


Figura13 - Mascara de oceano-continente [1-continento 0-mar] (a) e Porcentagem de água [%](b).

3.3 Topografia Média e Variância da Topografia

O dado de entrada para o pré-processamento da variância da topografia é o dados de saída da subrotina TopoWaterPercNavy que está no arquivo TopoNavy.dat.

A topografia ou altura geopotencial são derivadas dos dados (em resolução intermediária 10x10 minutos de graus) a partir do cálculo da média, ou seja, as grades da fonte de dados e a desejada são sobrepostas, e as médias ponderadas são calculadas considerando as frações das áreas da grade da fonte de dados que cobrem o quadrado da grade desejada. A Figura 14 indica o procedimento do pré-processamento da variância de topografia.

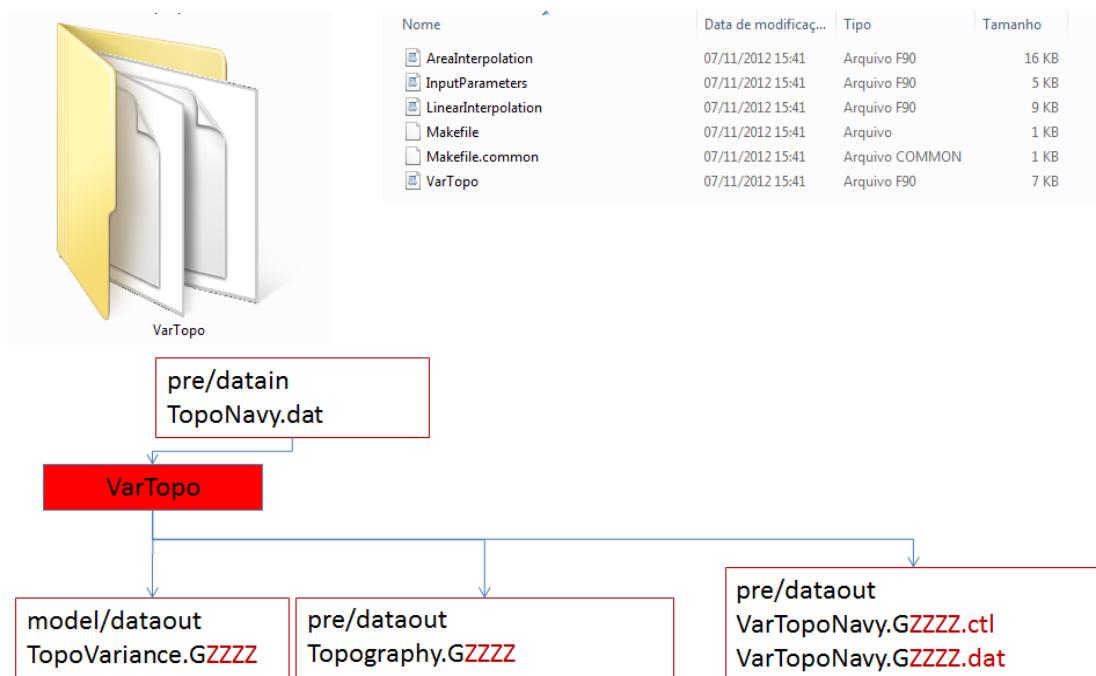


Figura 14 - Estrutura do processamento da variância da topografia.

A topografia média e a variância da topografia interpoladas para a grade gaussiana do modelo é gerada a partir da subrotina **VarTopo.f90**, como mostrado na Figura 15. Verifica-se que a variância é maior onde ocorre uma variação brusca da declividade do terreno. Este resultado possui este padrão devido ao fato que a variância é calculada para a média da topografia de cada quadricula de resolução de 10x10 minutos de graus.

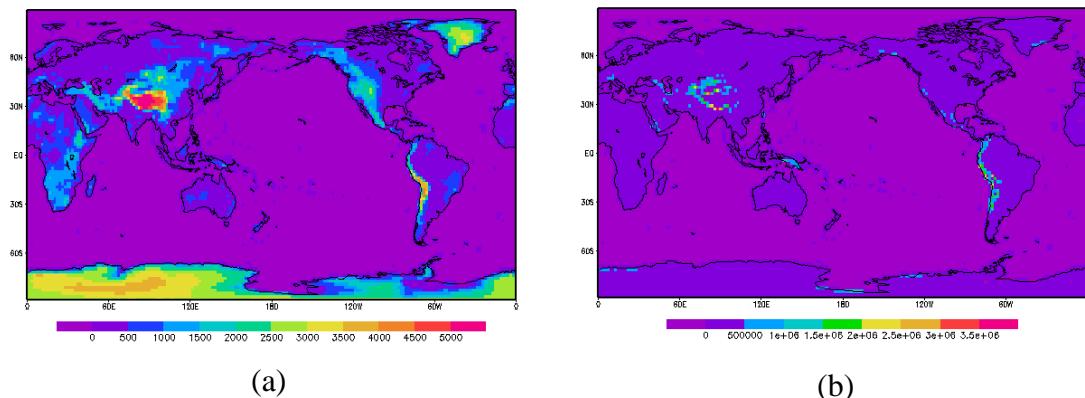


Figura15 - Topografia [m] (a) e Variância de Topografia [m^2] (b).

3.4 Topografia espectral

O dado de topografia gerado pela sub-rotina VarTopo (Topography.GZZZ) será o dado que será pré-processado pela subrotina TopoSpectral. Nesta subrotina a topografia é espectralmente construída para garantir a coerência (ou consistência) entre o espaço espectral e o espaço físico na resolução do modelo. O Filtro de Hoskins é utilizado para suavizar o campo. Ondas orográficas aparecem como uma consequência da remodelação espectral.

A Figura 16 indica a estrutura de processamento da topografia espectral, onde se pode observar que a subrotina TopoSpectral gera 3 arquivos: um no formato espectral e os outros 2 são um arquivo descritor do software de visualização GrADS e os dados binário referentes aos arquivos descritores. Neste arquivo binário estão os dados interpolados de topografia e da topografia recomposta do dado espectral geradas na resolução do modelo.

Verifica-se na Figura 17 que a topografia recomposta do dado espectral possui algumas ondas, principalmente sobre os oceanos. Este padrão está relacionado a utilização da transformada espectral para recompor o campo de topografia a partir do dado espectral. Portanto, é necessário sempre a utilização de algum filtro para a remoção destas ondas, na sub-routine TopoSpectral se utiliza o filtro de Hoskins. A subrotina **TopoSpectral.f90** gera a topografia espectral e a topografia recomposta para a grade gaussiana do modelo (Figura 17).

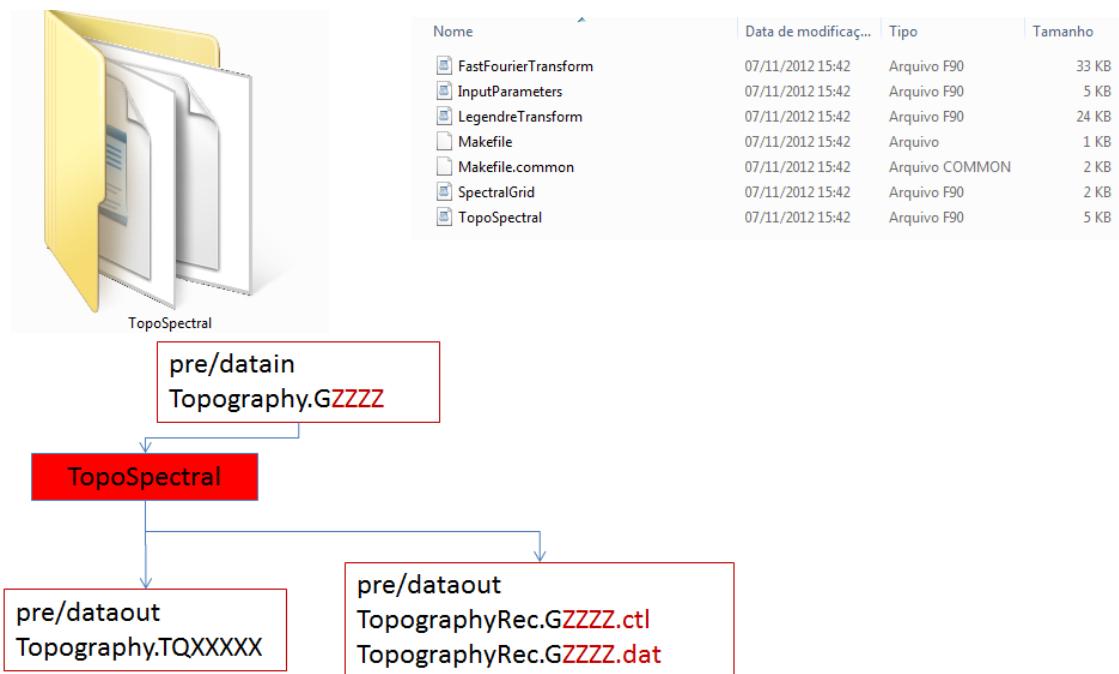


Figura16 - Estrutura de processamento da topografia espectral.

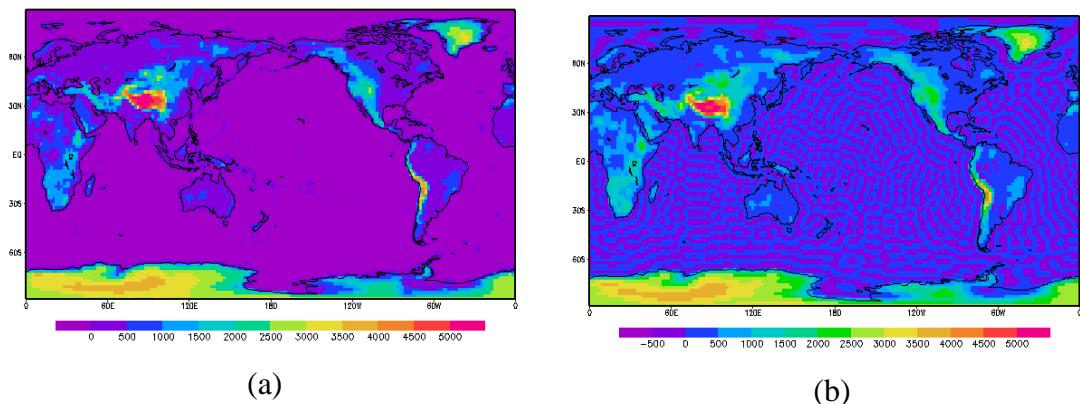


Figura17- Topografia interpolada (a) [m] e Topografia Recomposta (b) [m].

3.5 Mapa de Vegetação

O BAM inclui uma formulação explícita da vegetação da superfície continental e as suas trocas de fluxos com a atmosfera, são baseadas nos modelos de superfície Simplified Simple Biosphere model (SSiB), como descrito em Xue et al. (1991), no Integrated Biosphere Simulator (IBIS-2.6) descrito por Foley et al. (1996) e Kucharik et al. (2000) e no Simple Biosphere model (SiB-2.5) descrito por Sellers et al. (1996).

No modelo de superfície (SSiB, IBIS-2.6 e SiB-2.5), são considerados os seguintes processos físicos básicos:

- a) absorção seletiva da radiação fotossinteticamente ativa (PAR);
- b) resistência estomática e das raízes aos fluxos de vapor d'água entre o solo e a atmosfera;
- c) armazenamento, drenagem e evaporação da precipitação e do orvalho interceptados pela superfície das folhas;
- d) escoamento do excesso de precipitação e drenagem sub-superficial da água;
- e) efeitos radiativos e térmicos da cobertura de neve no solo e do dossel da vegetação;
- f) a influência das diferentes morfologias das plantas no comprimento de rugosidade e na transferência de momentum, calor e umidade entre a superfície e a atmosfera.

A cobertura do terreno, sobre a qual o modelo opera, é representada por biomas, aos quais estão associados os parâmetros físicos, fisiológicos e morfológicos de cada tipo de cobertura da superfície. Em relação à vegetação, o mapa utilizado IBIS-2.6 é derivado do esquema de classificação Foley et al. (1996) e Kucharik et al. (2000) conforme a Tabela 3, e os mapas utilizados pelos SSiB e SiB-2-5 é derivado do esquema de classificação de Kuchler (1983), totalizando 12 classes de cobertura do terreno, incluindo drenagem e solo exposto, conforme descrito na Tabela 5. No caso do esquema de superfície IBIS-2.6 a vegetação é posteriormente classificada em tipos funcionais de Plantas (PFTs) mostradas na Tabela 4.

Tabela 3 – Para a inicialização do esquema de superfície IBIS-2.6 utilizam-se os seguintes tipos de vegetação como condição inicial.

Bioma	Características	Nome usado por kubota (2012)
1	Árvores perenifólias com folhas largas	tropical evergreen forest / woodland
2	Árvores caducifólias com folhas largas	tropical deciduous forest / woodland
3	Árvores com folhas largas e árvores com folhas aciculadas	temperate evergreen broadleaf forest / woodland
4	Árvores perenifólias com folhas aciculadas	temperate evergreen conifer forest / woodland
5	Árvores caducifólias com folhas largas	temperate deciduous forest / woodland
6	Árvores perenifólias com folhas aciculadas	boreal evergreen forest / woodland
7	Árvores perenifólias com folhas aciculadas	boreal deciduous forest / woodland
8	Árvores com folhas largas e árvores com folhas aciculadas e gramíneas	mixed forest / woodland
9	Árvores de folhas largas e gramíneas	savanna
10	Somente gramíneas (perene)	grassland / steppe
11	Árvores de folhas largas e gramíneas	dense shrubland
12	Arbustos com folhas largas e gramíneas perenes	open shrubland
13	Arbustos e árvores anãs, com musgos, líquens, gramíneas e ervas baixas	tundra
14	Solo nu	desert
15	Solo nu coberto de gelo	polar desert / rock / ice

Nesta versão do PRÉ-PROCESSAMENTO, na Figura 18 temos a subrotina **VegetationMaskIBISClima.f90** que gera a máscara global de cobertura vegetal de

acordo com as informações presentes na Tabela 3 seguindo a classificação de Foley et al. (1996) e Kucharik et al (2000). O dado de entrada para a sub-routina VegetationMaskIBISClima.f90 é o arquivo `ibismsk.form` que está em uma resolução especial de 0.5 graus. Neste arquivo contém as informações sobre os tipos de vegetação presentes no global.

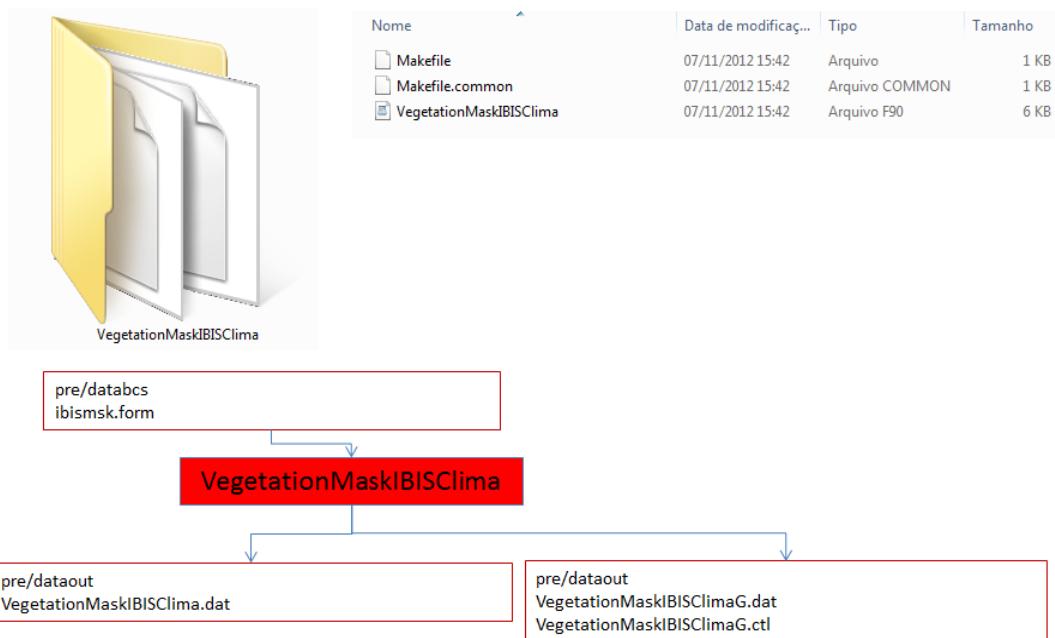


Figura 18- Procedimento do Pré-processamento para criar um mapa de vegetação para o esquema IBIS-2.6

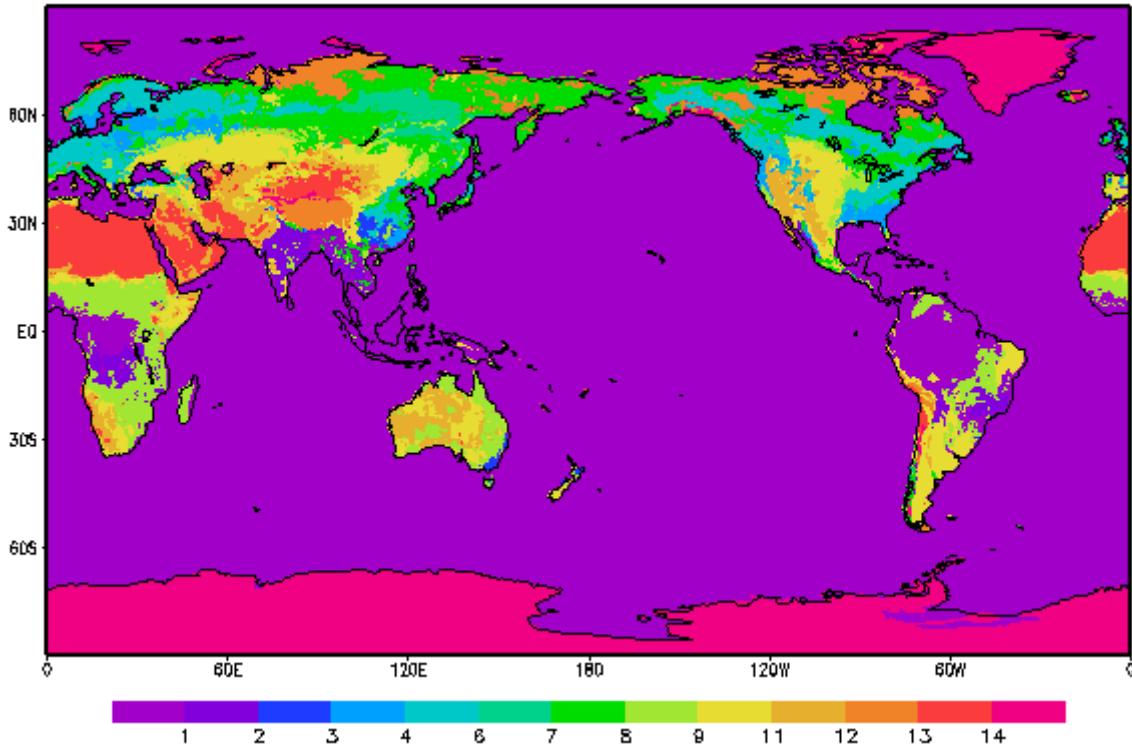


Figura19- Mapa Global de tipos de vegetação criado para o esquema IBIS-2.6.

A sub-rotina **VegetationMaskIBIS.Clima** cria 3 arquivos: O arquivo **VegetationMaskIBIS.Clima.dat** é onde está o dado binário do tipo de vegetação que será utilizado pelo modelo. E os arquivos **VegetationMaskIBIS.ClimaG.dat** e **VegetationMaskIBIS.ClimaG.ctl** são para a visualização no software GrADS. O campo global de vegetação é mostrado na Figura 19.

Em seguida, a máscara de vegetação é ajustada a máscara continente/oceano **LandSeaMask.GZZZ** criada pela subrotina **LandSeaMask.f90**. A máscara de vegetação é então interpolada na resolução do modelo, utilizando a sub-rotina **VegetationMaskIBIS.f90**. A ilustração desta subrotina encontra-se na Figura 20.

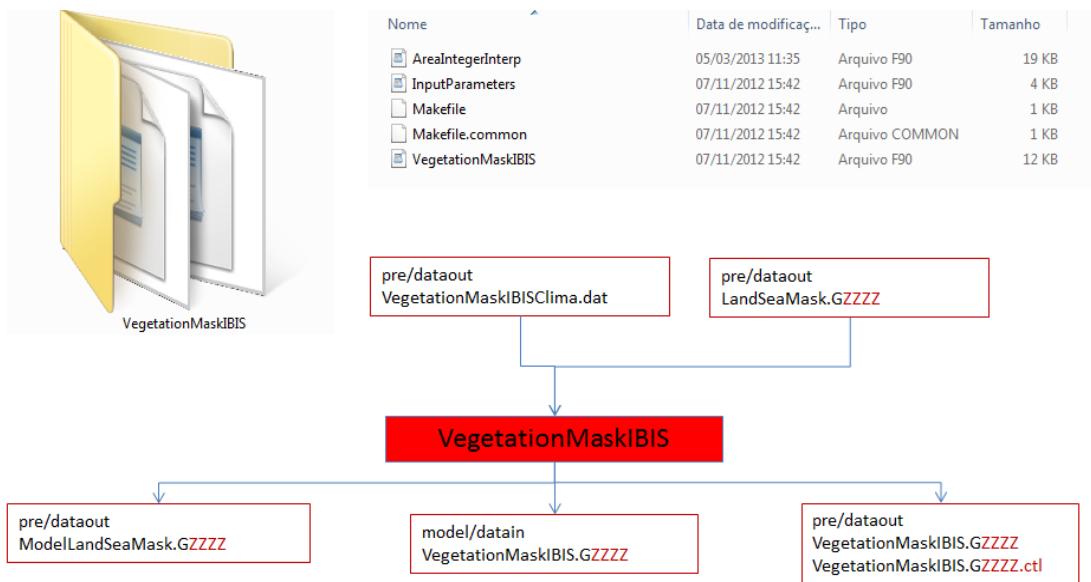


Figura 20- Esquema de Interpolação do mapa global de tipos de vegetação do esquema IBIS-2.6 na resolução do modelo.

A subrotina VegetationMaskIBIS.f90 gera 4 arquivos referentes a este processo do pré-processamento (ModelLandSeaMaskGZZZZ, VegetationMaskIBIS.GZZZZ, VegetationMaskIBIS.GZZZZ e VegetationMaskIBIS.GZZZZ.ctl).

O Arquivo ModelLandSeaMaskGZZZZ é a nova máscara oceano/continente criada a partir da intersecção e interpolação dos mapas de vegetação e da máscara oceano continente gerada a partir da topografia. O Arquivo VegetationMaskIBIS.GZZZ que está no diretório model/datain é o arquivo que o modelo utilizará na sua execução, possui o formato específico (não formatado, acesso direto, inteiro de 64 bytes) e os arquivos VegetationMaskIBIS.GZZZZ e VegetationMaskIBIS.GZZZZ.ctl que estão no diretório pre/dataout são específicos para a visualização no software GrADS. Na Figura 21 temos o mapa de vegetação do IBIS-2.6 interpolada na resolução do modelo.

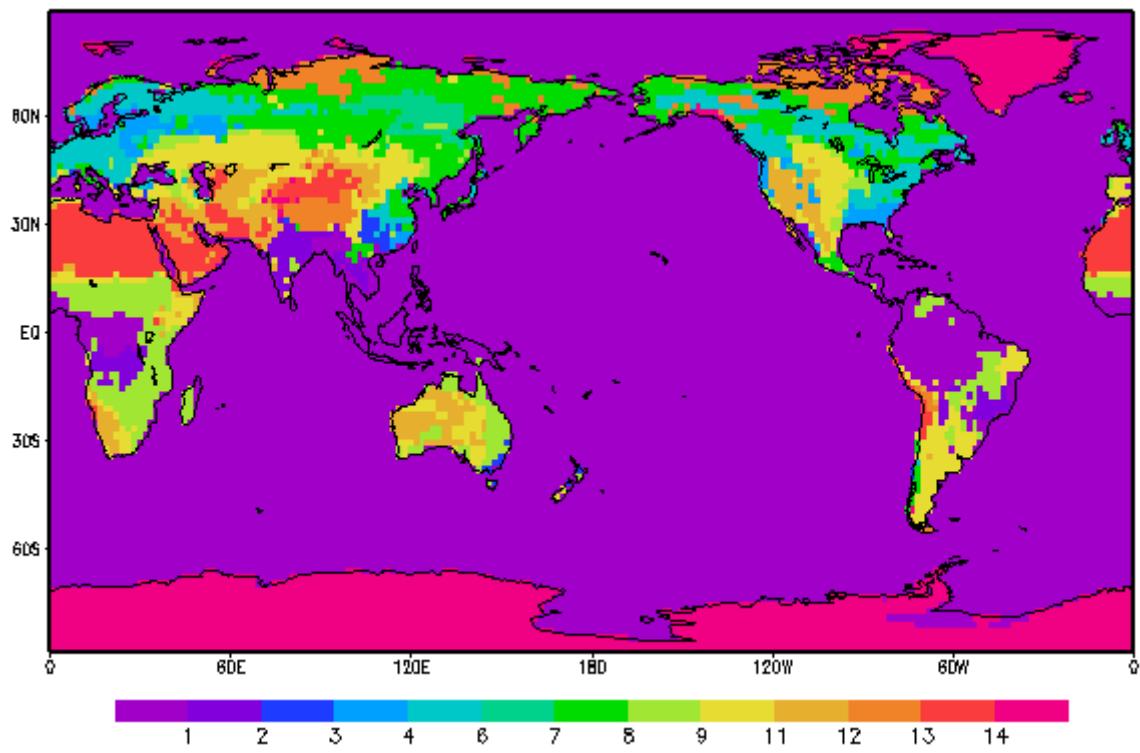


Figura 21- Mapa da máscara de vegetação do IBIS-2.6 interpolada na resolução do modelo.

Tabela 4 – Tipos Funcionais de Plantas (PFT) utilizadas no modelo IBIS-2.6.

Bioma	Nome usado por kubota (2012)
1	tropical broadleaf evergreen trees
2	tropical broadleaf drought-deciduous trees
3	warm-temperate broadleaf evergreen trees
4	temperate conifer evergreen trees
5	temperate broadleaf cold-deciduous trees
6	boreal conifer evergreen trees
7	boreal broadleaf cold-deciduous trees
8	boreal conifer cold-deciduous trees
9	evergreen shrubs
10	cold-deciduous shrubs
11	warm (c4) grasses
12	cool (c3) grasses

No modelo durante a sua execução os tipos de vegetação são reclassificados em tipos funcionais de plantas. A Tabela 4 mostra a reclassificação dos tipos de vegetação utilizada no esquema IBIS-2.6.

Na Figura 22 temos a estrutura do pré-processamento para a criação do mapa global da vegetação para esquema SiB-2.5. A sub-rotina **VegetationMaskSiB2Clima.f90** gera a máscara global de cobertura vegetal de acordo com as informações presentes na Tabela 5 seguindo a classificação Kuchler (1983). O dado de entrada para a sub-rotina **VegetationMaskSiB2Clima.f90** está no arquivo **sib2msk.form**, que está em uma resolução especial de 1°. Este arquivo contém as informações sobre os tipos de vegetação presentes no global seguindo a classificação Kuchler (1983).

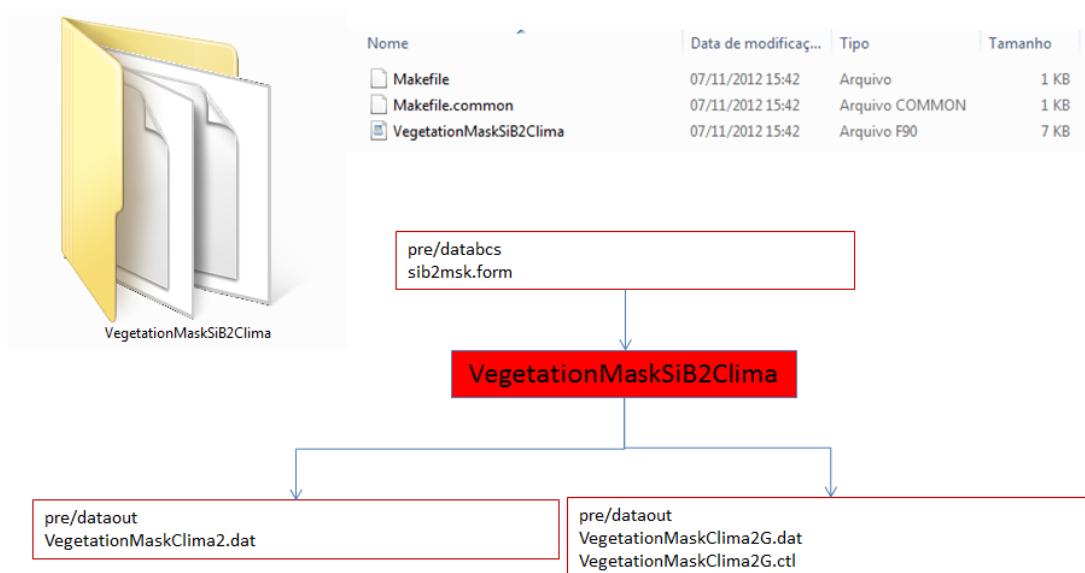


Figura 22- Estrutura do pré-processamento para a criação do mapa global da máscara de vegetação para esquema SiB-2.5.

A sub-routine **VegetationMaskSiB2Clima.f90** lê os dados do arquivo **sib2msk.form** e converte no mapa global da máscara de vegetação para esquema SiB-2.5. Esta subrotina gera 3 arquivos (**VegetationMaskClima2.dat**, **VegetationMaskClima2G.dat** e **VegetationMaskClima2G.ctl**). O arquivo **VegetationMaskClima2.dat** contém as informações do mapa global da máscara de vegetação obtidas do arquivo de entrada **sib2msk.form**. Os arquivos **VegetationMaskClima2G.dat** e **VegetationMaskClima2G.ctl** estão no formato para a visualização no GrADS. A Figura 23 mostra a vegetação para o esquema SiB-2.5.

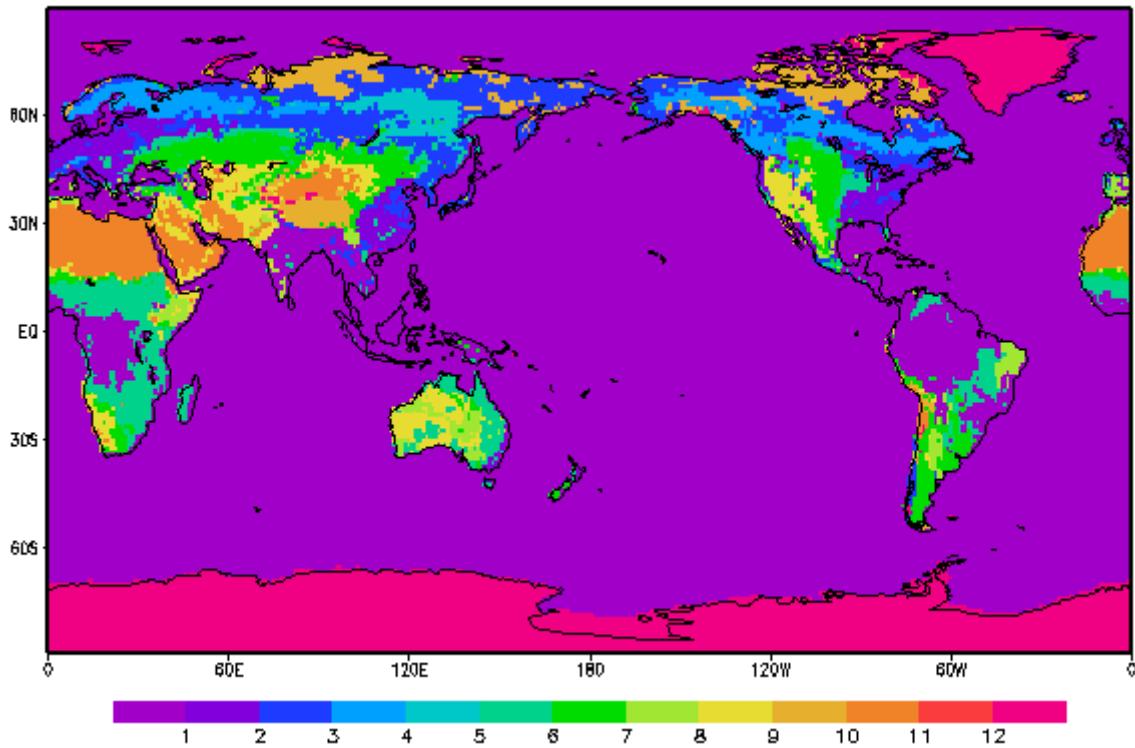


Figura 23- Mapa Global de tipos de vegetação para o esquema SiB-2.5.

Posteriormente, a máscara de vegetação é ajustada à máscara continente/oceano LandSeaMask.GZZZ criada pela subrotina **LandSeaMask.f90**. A máscara de vegetação é então interpolada na resolução do modelo, utilizando-se a sub-rotina **VegetationMaskSiB2.f90** (Figura24).

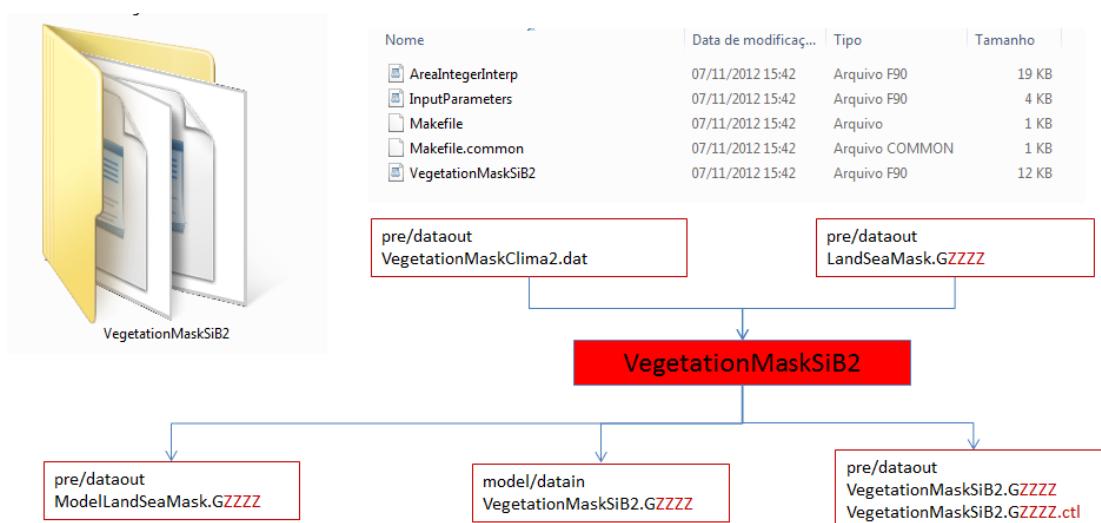


Figura 24 - Esquema de Interpolação do mapa global de tipos de vegetação do esquema SiB-2.5 na resolução do modelo.

A Figura 24 mostra que o arquivo de entrada da subrotina VegetationMaskSiB2.f90 é o VegetationMaskClima2.dat criado pela sub-routine VegetationMaskSiB2Clima.f90. Neste arquivo está o mapa global da máscara de vegetação em uma resolução de 0.5 graus.

A subrotina VegetationMaskSiB2.f90 gera 4 arquivos referentes a este processo do pré-processamento (ModelLandSeaMaskGZZZZ, VegetationMaskSiB2.GZZZZ, VegetationMaskSiB2.GZZZZ e VegetaionMaskSiB2.GZZZZ.ctl).

O Arquivo ModelLandSeaMaskGZZZZ é a nova máscara oceano/continente criada a partir da intersecção e interpolação dos mapas de vegetação e da máscara oceano continente gerada a partir da topografia. O Arquivo VegetationMaskSiB.GZZZ que está no diretório model/datain é o arquivo que o modelo utilizará na sua execução, possui o formato específico (não formatado, acesso direto, inteiro de 64 bytes) e os arquivos VegetationMaskSiB2.GZZZZ e VegetaionMaskSiB2.GZZZZ.ctl que estão no diretório pre/dataout são específicos para a visualização no software GrADS. A Figura 25 mostra a distribuição global de vegetação que será utilizada pelo modelo.

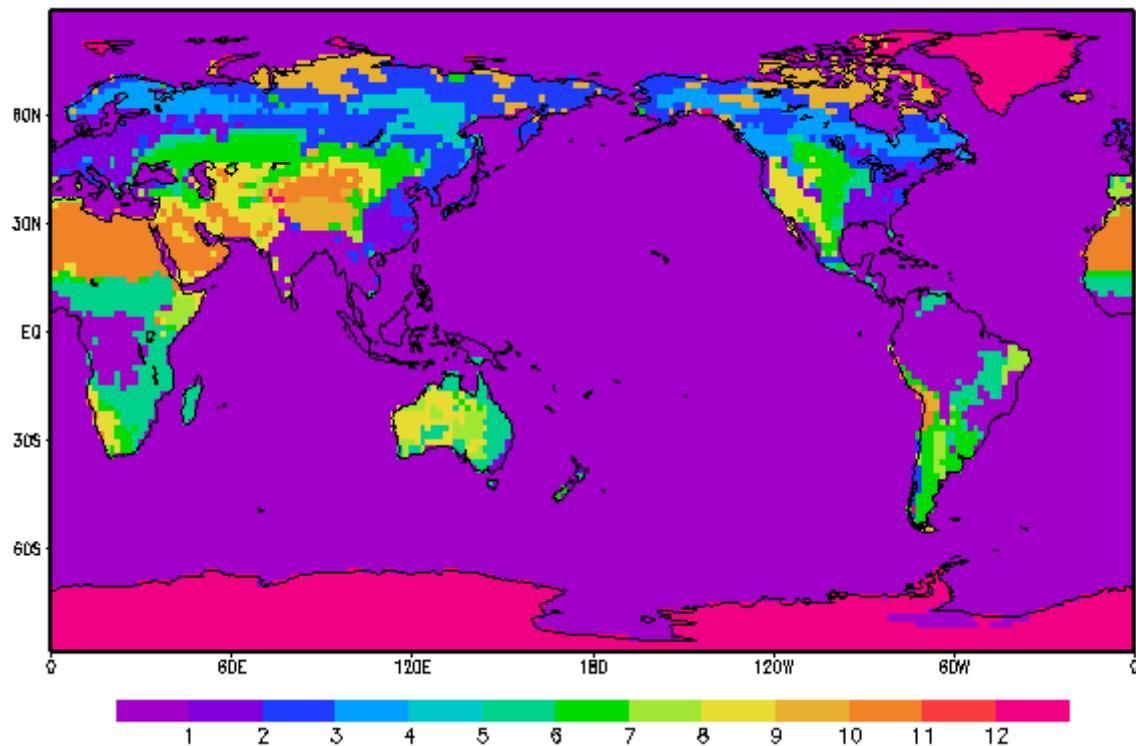


Figura 25 - Mapa da máscara de vegetação do SiB-2.5 interpolada na resolução do modelo.

No PRÉ-PROCESSAMENTO, o diretório ilustrado na Figura 26 mostra a sub-rotina **VegetationMaskSSiB.f90**, a qual gera a máscara global de cobertura vegetal de acordo com as informações presentes na Tabela 5 seguindo a classificação de Kuchler (1983). O dado de entrada para a sub-routine **VegetationMaskSSiB.f90** está no arquivo **sibmsk.form**, que está em uma resolução especial de 1° . Este arquivo contém as informações sobre os tipos de vegetação presentes no global seguindo a classificação Kuchler (1983).

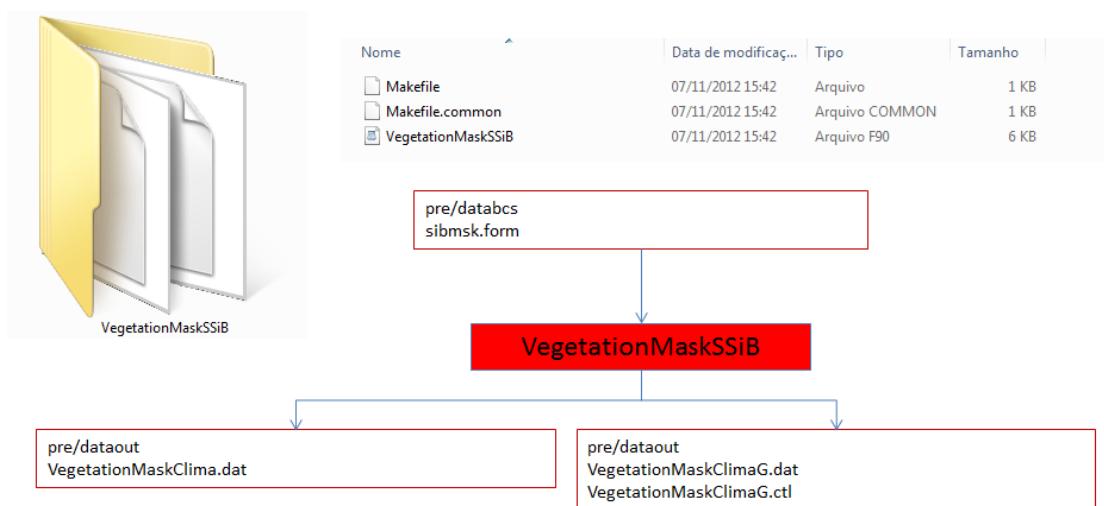


Figura 26 - Estrutura do pré-processamento para a criação do mapa global da máscara de vegetação para esquema SSiB.

A sub-rotina **VegetationMaskSSiB.f90** lê os dados do arquivo **sibmsk.form** e converte no mapa global da máscara de vegetação para esquema SSiB. Esta sub-rotina gera 3 arquivos (**VegetationMaskClima.dat**, **VegetationMaskClimaG.dat** e **VegetationMaskClimaG.ctl**). O arquivo **VegetationMaskClima.dat** contém as informações do mapa global da máscara de vegetação obtidas do arquivo de entrada **sibmsk.form**. Os arquivos **VegetationMaskClimaG.dat** e **VegetationMaskClimaG.ctl** estão no formato para a visualização no GrADS. Na Figura 27 temos o Mapa Global de tipos de vegetação para o esquema SSiB.

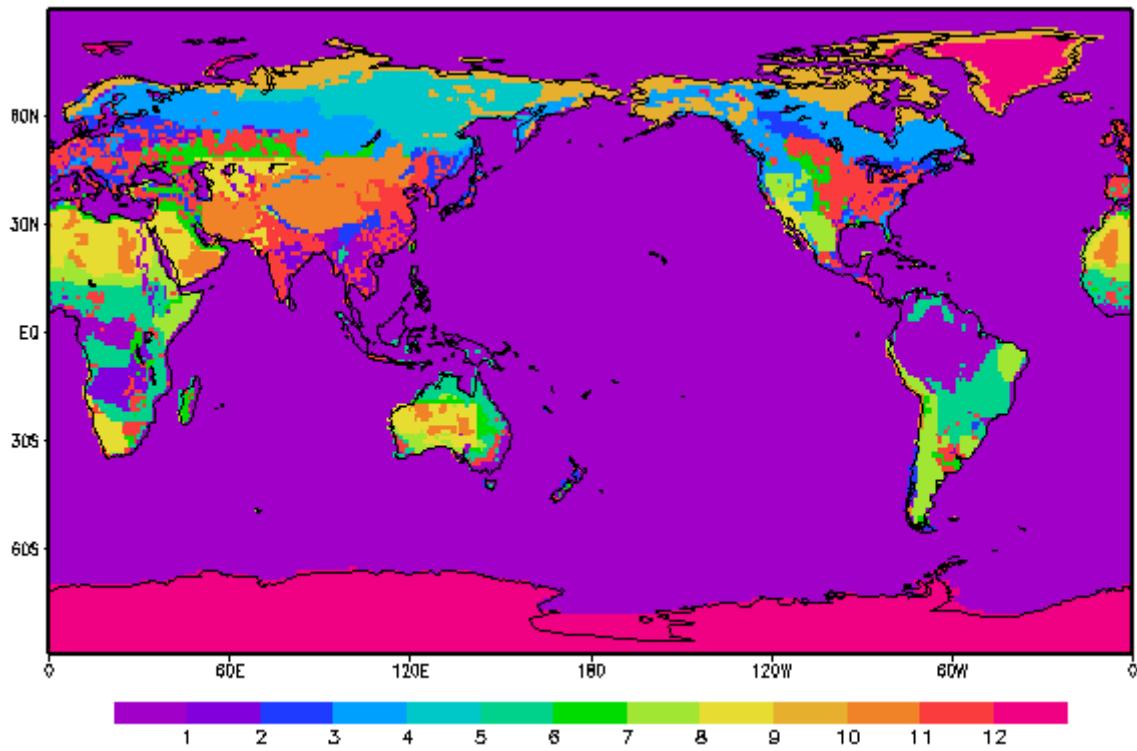


Figura-27- Mapa Global de tipos de vegetação criado para o esquema SSiB

Posteriormente, a máscara de vegetação é ajustada a máscara continente/oceano LandSeaMask.GZZZ criada pela subrotina **LandSeaMask.f90**. A máscara de vegetação é então interpolada na resolução do modelo, utilizando-se a sub-rotina **VegetationMask.f90**, conforme ilustração da Figura 28.

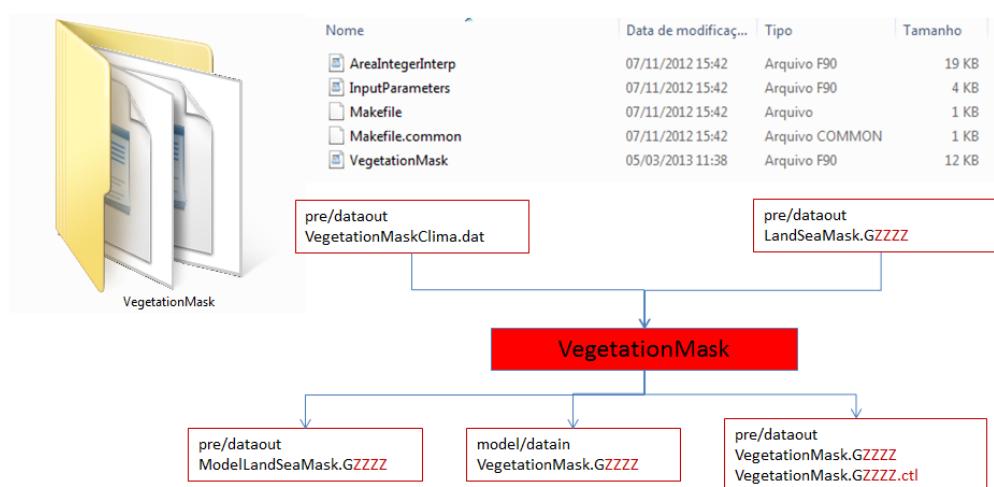


Figura 28 - Esquema de Interpolação do mapa global de tipos de vegetação do esquema SSiB na resolução do modelo.

A Figura 28, mostra o arquivo de entrada VegetationMaskClima.dat da sub-rotina VegetationMask.f90, que é o criado pela sub-rotina VegetationMaskSSiB.f90. Neste arquivo está o mapa global da máscara de vegetação em uma resolução de 1.0 graus.

A sub-rotina VegetationMaskSSiB.f90 gera 4 arquivos referentes a este processo do pré-processamento (ModelLandSeaMask.GZZZZ, VegetationMask.GZZZZ, VegetationMask.GZZZZ e VegetaionMask.GZZZZ.ctl).

O Arquivo ModelLandSeaMaskGZZZZ é a nova máscara oceano/continente criada a partir da intersecção e interpolação dos mapas de vegetação e do máscara oceano continente gerada a partir da topografia. O Arquivo VegetationMask.GZZZ que está no diretório model/datain é o arquivo que o modelo utilizará na sua execução, possui o formato específico (não formatado, acesso direto, inteiro de 64 bytes) e os arquivos VegetationMask.GZZZZ e VegetaionMask.GZZZZ.ctl que estão no diretório pre/dataout são específicos para a visualização no software GrADS. A Figura 29 mostra a distribuição global de vegetação que será utilizada pelo modelo.

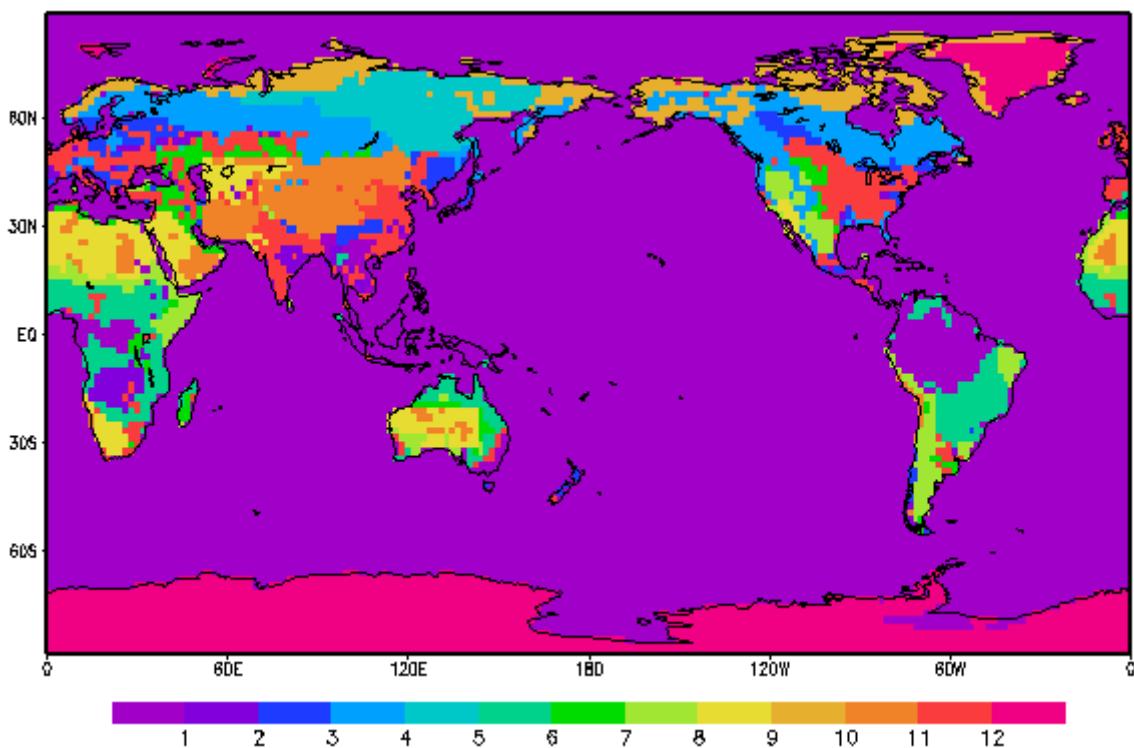


Figura 29- Mapa da máscara de vegetação do SSiB interpolada na resolução do modelo.

Tabela 5 – Classes de vegetação consideradas no SSiB segundo Dorman e Sellers (1989). A tradução das características de cada bioma apresentadas em Dorman e Sellers, segue Oyama (2002).

Bioma	Características	Nome usado por Oyama (2002)
1	Árvores perenifólias com folhas largas	Floresta Tropical
2	Árvores caducifólias com folhas largas	Floresta Temperada
3	Árvores com folhas largas e árvores com folhas aciculadas	Floresta Mista
4	Árvores perenifólias com folhas aciculadas	Floresta Boreal
5	Árvores caducifólias com folhas aciculadas	Floresta de Lariços
6	Árvores de folhas largas e gramíneas	Savana (cerrado)
7	Somente gramíneas (perene)	Campos Extratropicais (campos, pradarias, estepes)
8	Arbustos com folhas largas e gramíneas perenes	Caatinga
9	Arbustos com folhas largas e solo nu	Semi-deserto
10	Arbustos e árvores anãs, com musgos, líquens, gramíneas e ervas baixas	Tundra
11	Solo nu	Deserto
12	Trigo de inverno e árvores caducifólias com folhas largas	Cultivos agrícolas
13	Gelo perpétuo	Gelo

No PRÉ-PROCESSAMENTO, a subrotina **VegetationMaskSSiB.f90** gera a máscara de cobertura vegetal de acordo com os dados climatológicos de vegetação do SSiB. Em seguida, a máscara continente/oceano do modelo é corrigida a partir da máscara de vegetação, utilizando-se a subrotina **VegetationMask.f90**.

3.6 Parâmetros de Vegetação e Solo

A camada solo-vegetação afeta a transferência radiativa na superfície, o particionamento de energia na superfície em fluxos de calor sensível e calor latente, e a transferência de momento entre a superfície e a atmosfera. O SSiB, SiB-2.5 e o IBIS-2.6 destinam-se a simular realisticamente os processos de trocas biofísicas. Os controles biofísicos nestes processos de troca são modelados em uma forma mutualmente consistente, representando os efeitos da vegetação explicitamente. Em cada ponto de grade da superfície (continente) do BAM é definido um dos 13 ou 15 biomas descritos nas Tabelas 3 ou 4, cujas propriedades físicas e morfológicas são especificadas e dependentes da época do ano (DORMAN e SELLERS, 1989). No caso do modelo IBIS-2.6 os parâmetros físicos e morfológicos podem variar dinamicamente, quando o módulo de vegetação dinâmica estiver ativada.

A determinação dos fluxos de energia segue a analogia de um circuito elétrico. Os fluxos de calor são proporcionais a uma diferença de potencial e ao inverso de uma resistência especificada. As resistências aerodinâmicas r_a , r_b e r_d estão associadas à transferência de umidade e calor, enquanto que as resistências de superfície, r_c e r_{surf} controlam o fluxo de vapor d' água dos tecidos saturados da folhagem e a evaporação do solo nu.

No SSiB e SiB-2.5, o solo é dividido em três camadas adjacentes:

- a) superficial – pouco espessa, favorecendo a evaporação direta do solo;
- b) de raízes – responsável pela fonte de umidade para a transpiração da vegetação;
- c) profunda ou de drenagem – promove o escoamento da água por drenagem gravitacional.

No modelo IBIS não há distinção entre as camadas de solo, somente necessita da espessura das seis ou mais camada de solo e a distribuição de raízes é em função dos tipos de vegetação.

Os parâmetros de vegetação e solo são obtidos a partir dos dados morfológicos e fisiológicos da vegetação SSiB (arquivos **sibalb.form** e **sibveg.form**). Estas

informações são geradas utilizando a subrotina **VegetationAlbedoSSiB.f90** mostrada na Figura 30.

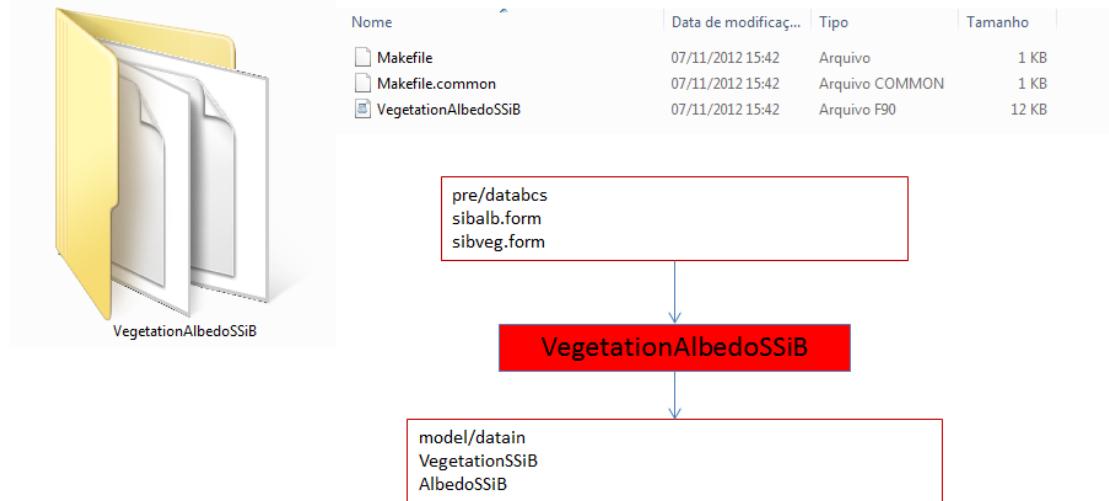


Figura 30 - Pré-processamento dos parâmetros do abedo e vegetação utilizada no modelo SSiB.

3.7 Parâmetros de Vegetação derivado do NDVI.

Alguns parâmetros de vegetação podem ser derivados do dado de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), que são estimado do MODIS (or Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e disponibilizado pela NASA. O modelo de superfície SiB-2.5 utiliza estes dados para estimar alguns parâmetros relacionado a fisiologia da vegetação. Portanto é necessário gerar estes dados através do pré-processamento do modelo. A Figura 31 mostra a estrutura do fluxograma do processamento do NDVI. A sub-rotina NDVIClima.f90 lê o arquivo de entrada ndviclm.form que contém os dados climatológicos de NDVI, em seguida gera um mapa com a distribuição global e coloca no arquivo NDVIClima.dat, o resultado desta etapa pode ser visualizada no Figura 32. A segunda etapa do processamento é onde se realiza o processo de interpolação do modelo, a sub-rotina NDVI.f90 lê os dados no arquivo NDVIClima.dat e interpola para a grade da resolução do modelo. Este processo gera 3 arquivos, no diretório model/datain gera o arquivo NDVI.GZZZZ que será utilizado na execução do modelo e no diretório pre/dataout gera os arquivos NDVI.GZZZZ e NDVI.GZZZZ.ctl utilizados na visualização dos dados.

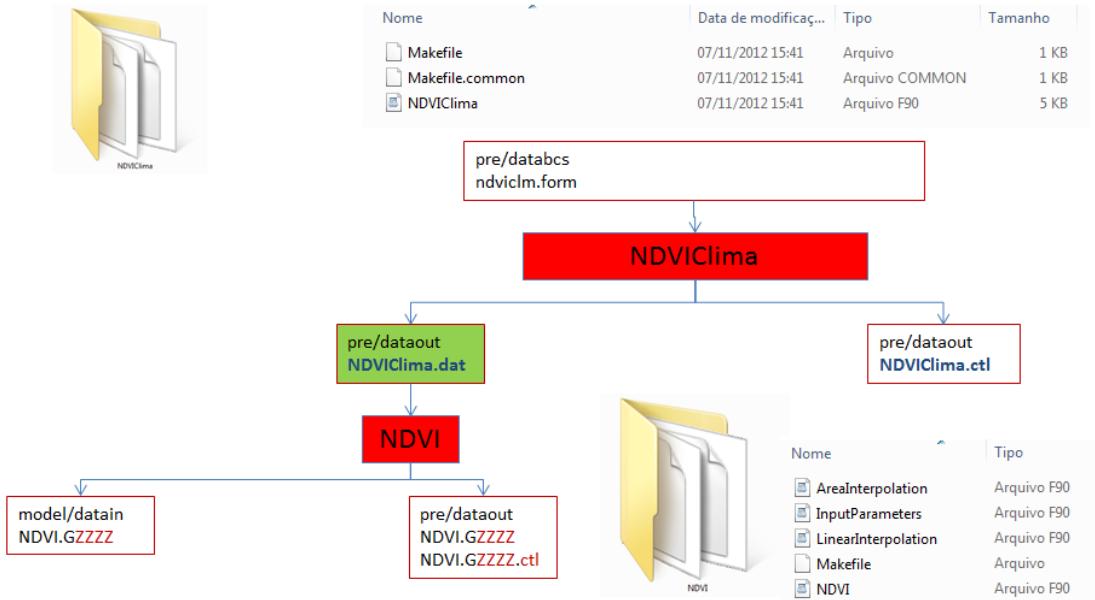


Figura 31 - Estrutura do Pré-processamento dos dados de NDVI climatológico.

A Figura 32 mostra os resultados da execução do pré-processamento do NDVI a Figura 32a é o resultado da recomposição global do NDVI e a Figura 32b é o resultado da interpolação para a grade do modelo bam.

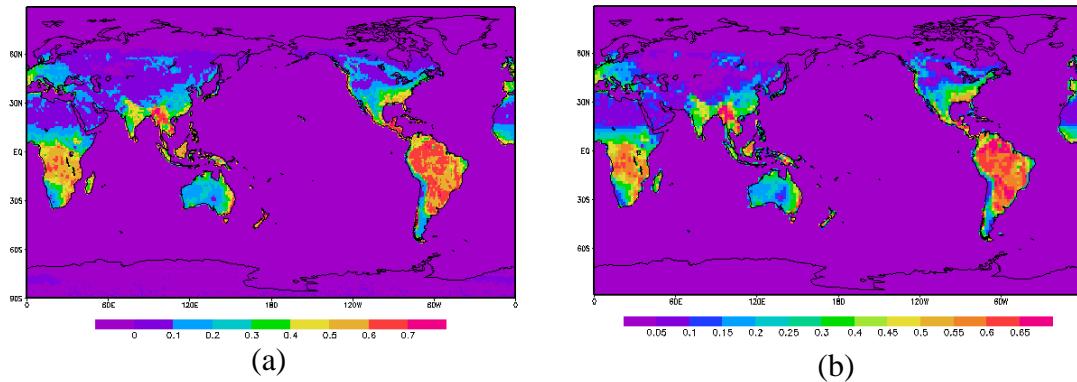


Figura 32 - Resultado do Pré-processamento dos dados de NDVI (a) Mapa da distribuição global (b) Campo de NDVI interpolado na resolução do modelo.

3.8. Parâmetros de solo derivado da porcentagem de areia e argila.

Diferentemente do esquema de superfície SSiB que tem as propriedades físicas do solo relacionado ao tipo de vegetação, os esquemas IBIS-2.6 e SiB-2.5 necessitam de uma classificação do tipo de solo para calcular alguns parâmetros de propriedades físicas do solo (porosidade, coeficiente b, condutividade hidráulica e térmica etc.). Para obter a classificação do tipo de solo os esquemas IBIS-2.6 e SiB-2.5 necessitam de pelo menos dois campos, a concentração de areia e argila. A Figura 33 mostra a relação do tipo do solo com a porcentagem de areia e argila.

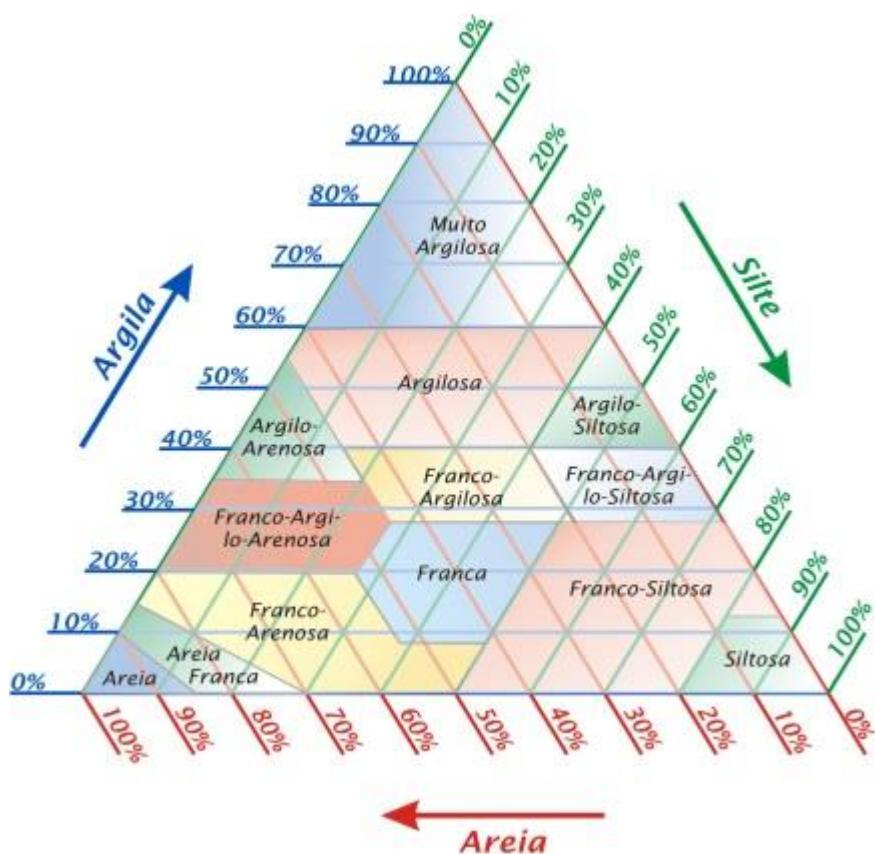


Figura 33 - Triângulo das classes texturais de solo (fonte: Falker – www.falker.com.br)

Os dados da porcentagem de areia e argila são distribuídas em 6 camadas de solo, sobre a região Groelândia e Antártida não há dados disponíveis, este dados são colocadas nos arquivos sandmsk.form e claymsk.form respectivamente. A fonte de dados da porcentagem de areia e argila é da [Food and Agriculture Organization of the United Nations \(FAO\)](#).

O tratamento do pré-processamento dos campos de areia e argila é diferente para os esquemas de superfície IBIS-2.6 e SiB-2.5, o IBIS-2.6 necessita de 6 camadas de solo e no SiB-2.5 somente 1 camada de solo é utilizada.

A Figura 34 mostra a estrutura do pré-processamento do campo da porcentagem de areia para o esquema de superfície IBIS é realizado pela sub-rotina PerceSandMaskIBISCLima.f90 e PerceSandMaskIBIS.f90. A sub-rotina PerceSandMaskIBISCLima.f90 lê o arquivo sandmsk.form que contém os dados de porcentagem de areia no solo e gera o mapa global da distribuição deste campo. O resultado é colocado no diretório pre/dataout no arquivo PerceSandMaskIBISCLima.dat e no arquivo PerceSandMaskIBISCLimaG.dat e PerceSandMaskIBISCLimaG.ctl para visualização desta etapa do processamento. Na etapa posterior a sub-rotina PerceSandMaskIBIS.f90 lê o arquivo PerceSandMaskIBISCLima.dat e a máscara oceano/continente na resolução do modelo e faz a intersecção e interpolação dos campos nas resoluções horizontal e vertical na qual o modelo será executado.

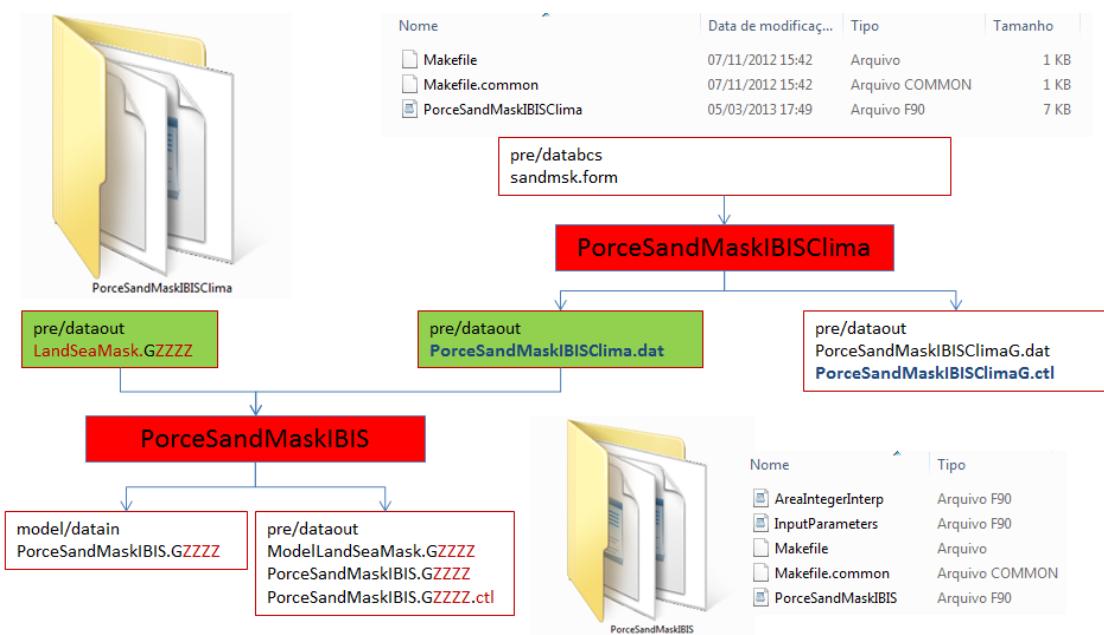


Figura 34 - Estrutura do pré-processamento do campo da porcentagem de areia para o esquema de superfície IBIS.

No processo de interpolação as regiões da Antártida e Groelândia, onde não há dado o algoritmo de processamento define um valor de 60% de areia. A sub-rotina

PerceSandMaskIBIS.f90 coloca os resultados em 4 arquivos, no diretório model/datain fica o arquivo PerceSandMaskIBIS.GZZZZ que será utilizado pelo modelo, no diretório pre/dataout ficam os arquivos PerceSandMaskIBIS.GZZZZ, PerceSandMaskIBIS.GZZZZ e o ModelLandSeaMask.GZZZZ, que são utilizados para visualização. Na Figura 35 estão os resultados obtidos do processo de interpolação

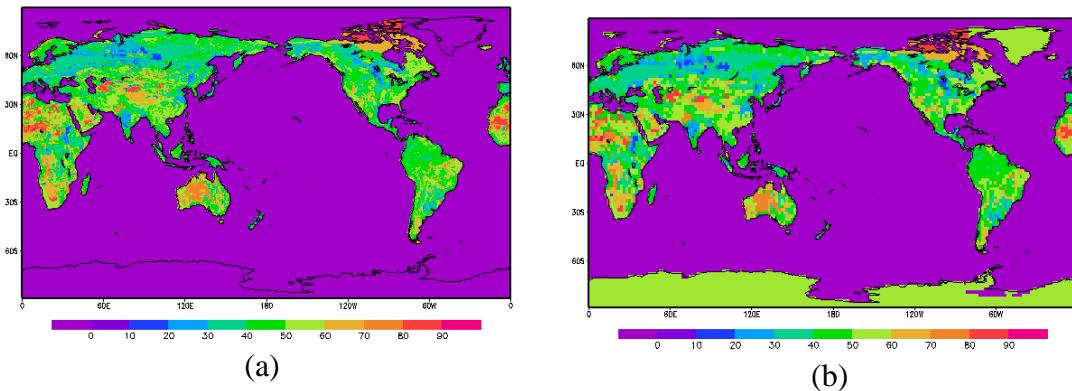


Figura 35 - Resultado do pré-processamento do campo de porcentagem de areia para o esquema de superfície IBIS-2.6

O esquema de superfície SiB-2.5 também utiliza a porcentagem de areia no solo para a definição da classe de textura do solo. O pré-processamento é semelhante ao processamento do arquivo do esquema de superfície IBIS-2.6. O processo é dividido em duas etapas, na primeira a sub-rotina PorceSandMaskSiB2Clima.f90 lê o arquivo sandmsk.form e constrói a distribuição global de porcentagem de areia, o resultado é colocado no arquivo PorceSandMaskSiB2Clima.dat. Para a visualização dos resultados desta parte do processamento também é gerado no diretório pre/dataout os arquivos PorceSandMaskSiB2ClimaG.dat e PorceSandMaskSiB2ClimaG.ctl

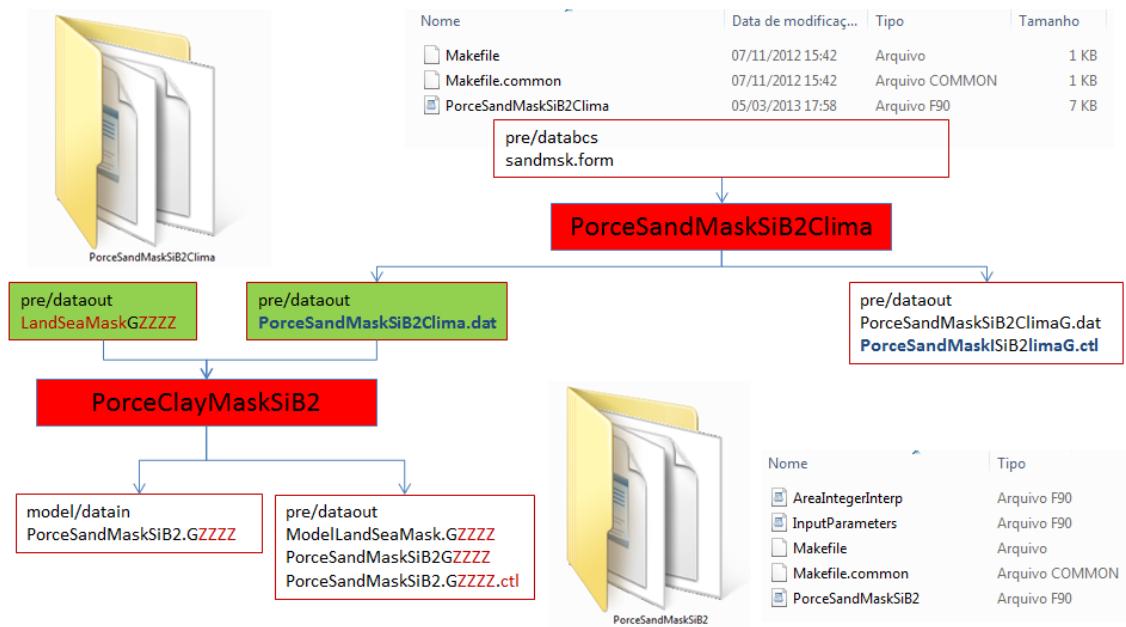


Figura 36 - Estrutura do pré-processamento do campo da porcentagem de areia para o esquema de superfície SiB-2.5.

Na segunda etapa ilustrada na Figura 36 temos a subrotina PorceSandMaskSiB2.f90, a qual lê o arquivo PorceSandMaskSiB2Clima.dat criada na etapa 1 e a máscara oceano continente LandSeaMask.GZZZZ. No processamento faz a intersecção e a interpolação dos dados dos arquivos, gerando 4 arquivos durante o processamento, no diretório model/datain fica o arquivo PerceSandMaskSiB2.GZZZZ que será utilizado pelo modelo, e no diretório pre/dataout ficam os arquivos PerceSandMaskSiB2.GZZZZ, PerceSandMaskSiB2.GZZZZ e o ModelLandSeaMask.GZZZZ, que são utilizados para visualização. Na Figura 37 estão os resultados obtidos do processo de interpolação

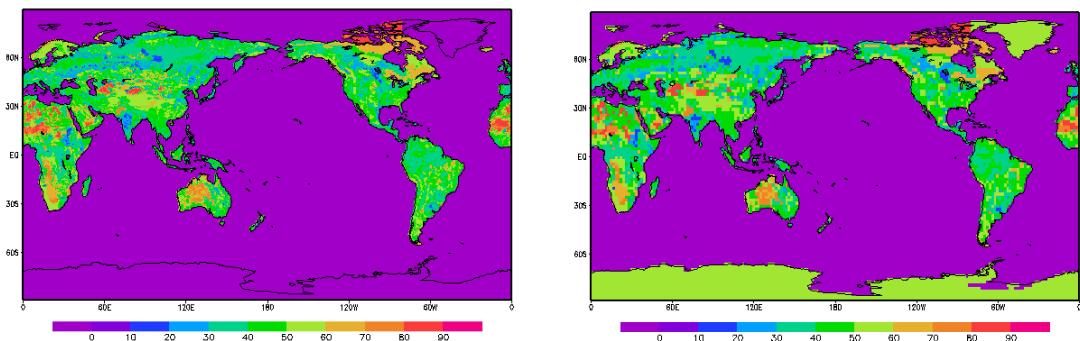


Figura 37 - Resultado do pré-processamento do campo de porcentagem de areia para o esquema de superfície SiB-2.5

Outro campo importante para obter a informação da textura do solo é a porcentagem de argila no solo. Os dados obtidos da FAO estão no arquivo claymsk.form em uma resolução de 0.5 graus e 6 camada de solo. O algoritmo de pré-processamento é similar ao da porcentagem de areia no solo. A Figura 38 mostra a estrutura do pré-processamento da porcentagem de argila no solo, na primeira etapa a sub-rotina PerceClayMaskIBISclima.f90 lê o arquivo claymsk.form e gera a distribuição global da porcentagem de argila no solo e coloca no diretório pre/datain o arquivo PerceClayMaskIBISclima.dat com as informações. No mesmo diretório também gera o mesmo dado no arquivo PerceClayMaskIBISclimaG.dat e PerceClayMaskIBISclimaG.ctl para a visualização no software GrADS.

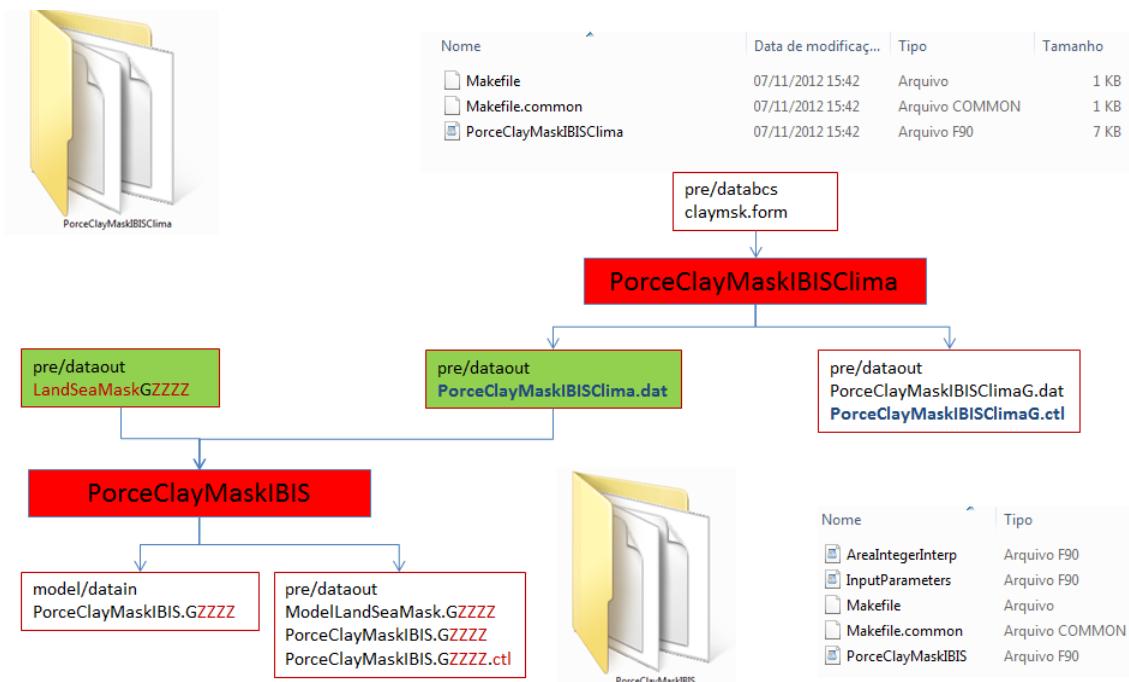


Figura 38 - Estrutura do pré-processamento do campo da porcentagem de argila para o esquema de superfície IBIS-2.6

Na segunda etapa do pré-processamento do campo da porcentagem de argila no solo, a subrotina PerceClayMaskIBIS.f90 lê o arquivo PerceClayMaskIBISclima.dat e a máscara oceano/continente LandSeaMask.GZZZZ na resolução do modelo e em seguida faz a intersecção dos campos e a interpolação horizontal em todas as camadas de solo. Neste processo as áreas da Groelândia a Antártida onde não há dados é definido um valor de 60% no valor da percentagem de argila no solo.

A subrotina PerceClayMaskIBIS.f90 gera 4 arquivos, o arquivo PerceClayMaskIBIS.GZZZZ é colocado no diretório model/datain e no diretório pre/dataout é colocado os arquivos ModelLandSeaMask.GZZZZ, PerceClayMaskIBIS.GZZZZ e PerceClayMaskIBIS.GZZZZ.ctl para a visualização do resultado do processamento desta etapa 2. A Figura 39 mostra o resultado do processo de interpolação para a grade do modelo.

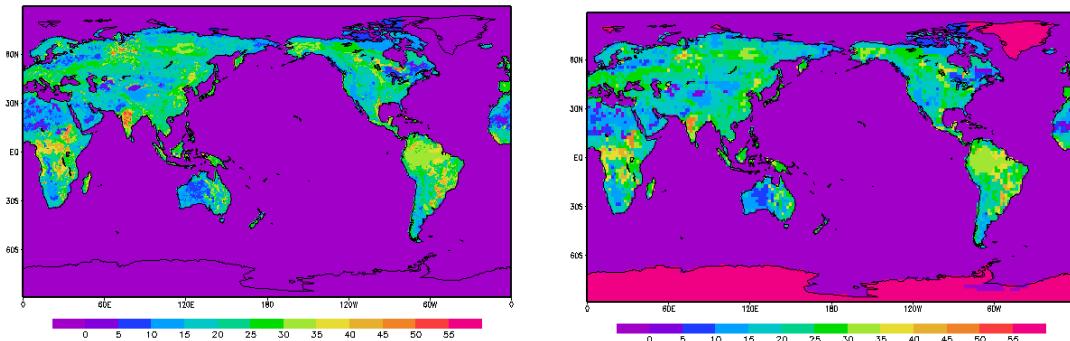


Figura 39 - Resultado do pré-processamento do campo de porcentagem de argila para o esquema de superfície IBIS-2.6

O esquema de superfície SiB-2.5 também necessita de dados de porcentagem de argila na solo para obter a informação da textura do solo. A Figura 40 mostra a estrutura de pré-processamento da porcentagem de argila no solo, a sub-rotina PerceClayMaskSiB2Clima.f90 lê o arquivo claymsk.form e o algoritmo gera o mapa da distribuição global de argila no solo. Os dados processados nesta primeira etapa são colocados no diretório pre/dataout nos arquivos PerceClayMaskSiB2Clima.dat e nos arquivos PerceClayMaskSiB2ClimaG.dat e PerceClayMaskSiB2ClimaG.ctl para a visualização dos dados nesta etapa.

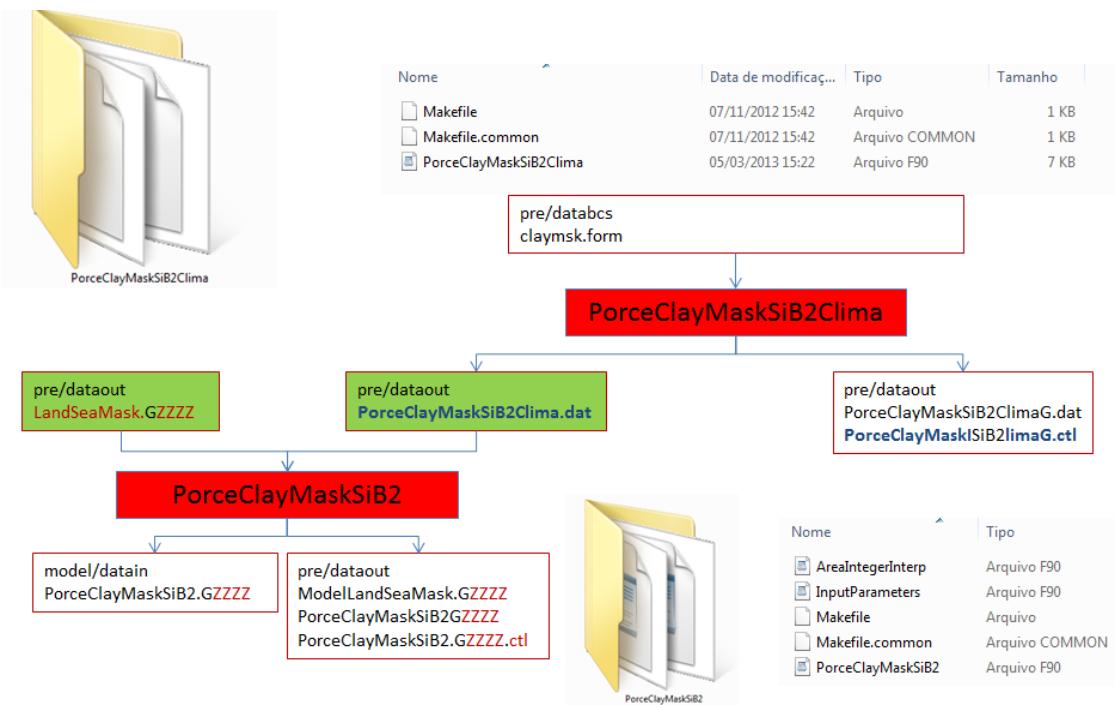


Figura 40 - Estrutura do pré-processamento do campo da porcentagem de argila para o esquema de superfície SiB-2.5

Na segunda etapa a subrotina PorceClayMaskSiB2.f90 lê os arquivos PorceClayMaskSiB2Clima.dat e ModelLandSeaMask.GZZZZ e realiza a intersecção e interpolação dos dados na grade e resolução do modelo. Os resultados são mostrados na Figura 41.

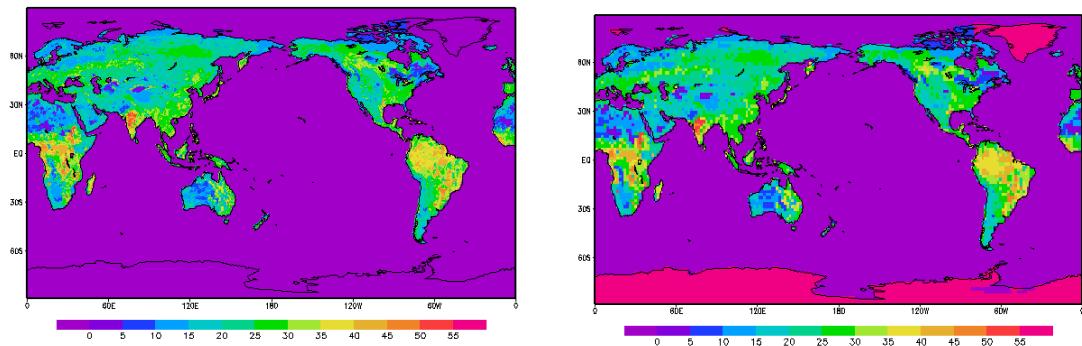


Figura 41 - Resultado do pré-processamento do campo de porcentagem de argila para o esquema de superfície SiB-2.5

3.9 Comprimento de Rugosidade

Os valores do comprimento de rugosidade, z_0 , sobre a superfície continental são obtidos a partir do SSiB, SiB-2.5 e IBIS-2.6, para cada um dos biomas reconhecidos pelo esquemas de superfície. São gerados valores de z_0 , variando mensalmente, os quais são utilizados no cálculo de transporte turbulento de momentum, calor e umidade. Entretanto, sobre os oceanos os modelos de biosfera não são utilizados, para contornar o problema, um conjunto de parâmetros de z_0 são gerados a partir da subrotina **RoughnessLength.f90** (ilustração na Figura 42). Sobre o oceano, utiliza-se um valor inicial constante de z_0 , o qual é modificado durante a rodada do modelo, para o cálculo dos fluxos de superfície do oceano. Neste caso, os valores de z_0 são obtidos a partir da subrotina **RoughnessLengthClima.f90** e do conjunto de dados descritos no arquivo **zorlng.form**.

A Figura 41 mostra a estrutura do pré-processamento da rugosidade em duas etapas a primeira a sub-rotina **RoughnessLengthClima.f90** lê o dado e gera o mapa com a distribuição global de rugosidade colocando no arquivo **RoughnessLengthClima.dat**, na segunda etapa a sub-rotina **RoughnessLength.f90** lê o mapa com a distribuição global de rugosidade e interpola para a resolução do modelo.

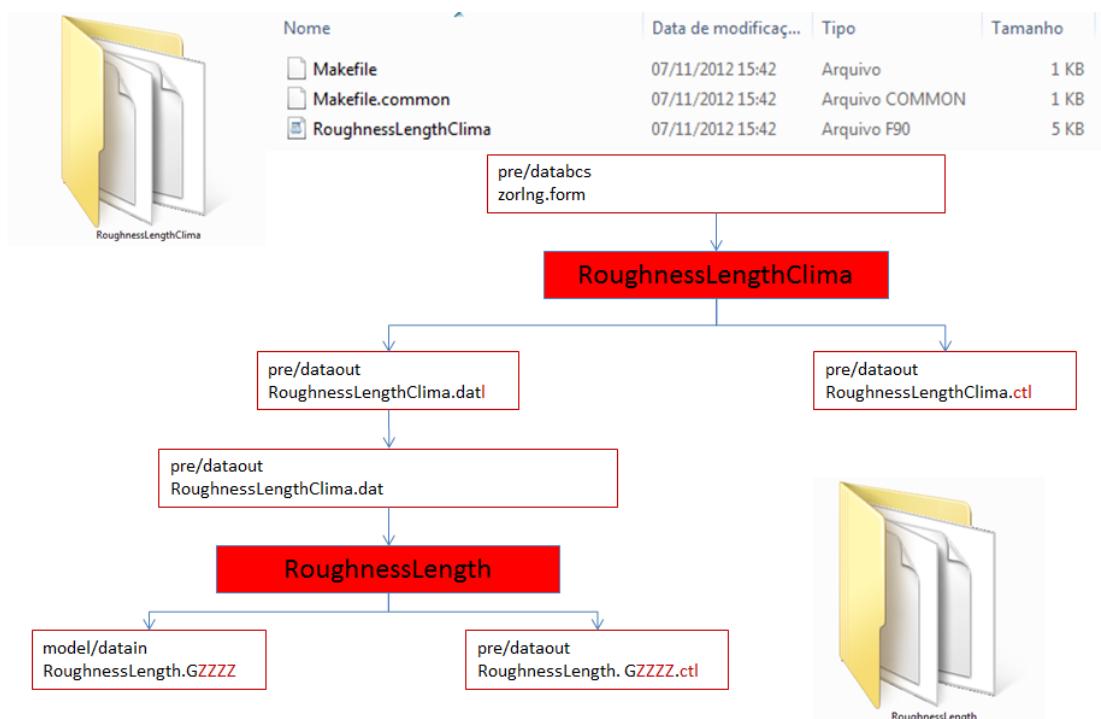


Figura 42 - Esquema de pré-processamento da rugosidade utilizada no modelo bam.

A Figura 43 mostra o resultado do pré-processamento da rugosidade que estão nos arquivos **RoughnessLength.GZZZZ** e **RoughnessLength.GZZZZ.ctl** estes dados estão no formato utilizado pelo software GrADS.

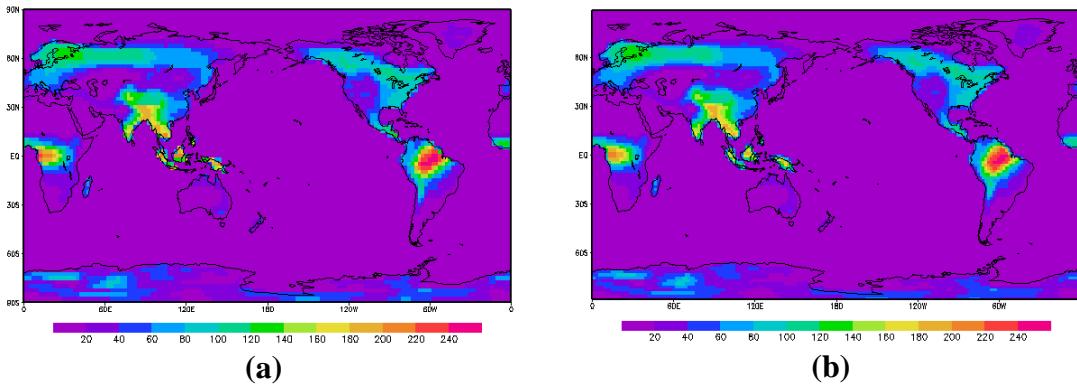


Figura - 43 Mapa global de rugosidade (a) original (b) interpolada para a resolução do modelo.

4 Campos prognósticos do modelo que necessitam de uma condição inicial

O modelo SSiB, SiB-2.5 e IBIS-2.6 possui sete ou mais variáveis prognósticas: temperaturas do dossel (T_c), da superfície do solo (T_{gs}) e do solo profundo (T_d), armazenamento de água por interceptação do dossel (M_c) e o grau de saturação em cada camada do solo ($W_1, W_2, W_3, W_{x,i}$).

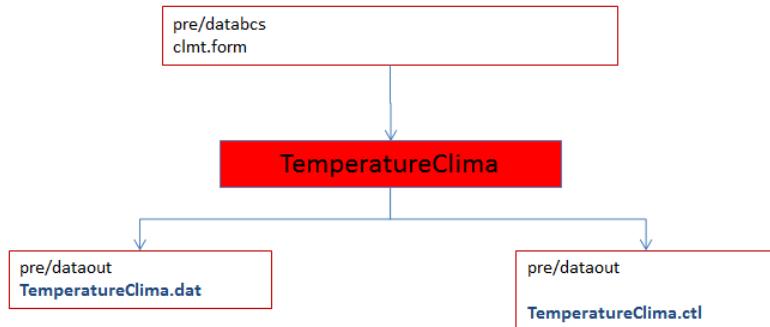
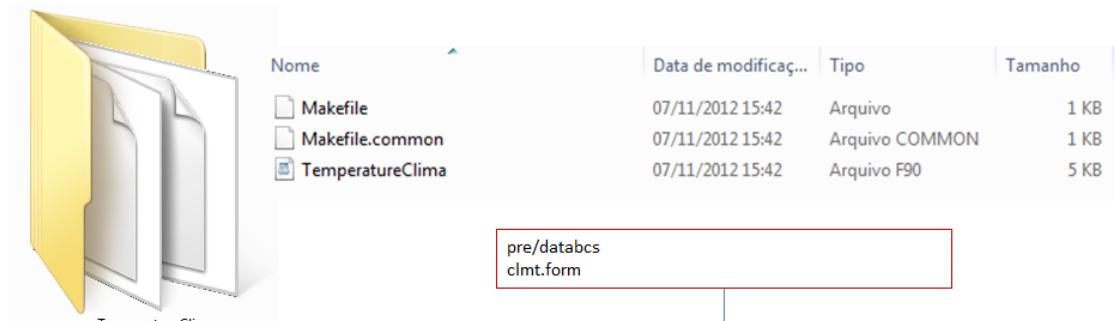
4.1 Temperatura do Dossel

A temperatura do dossel, T_c , é baseada na equação da conservação de energia:

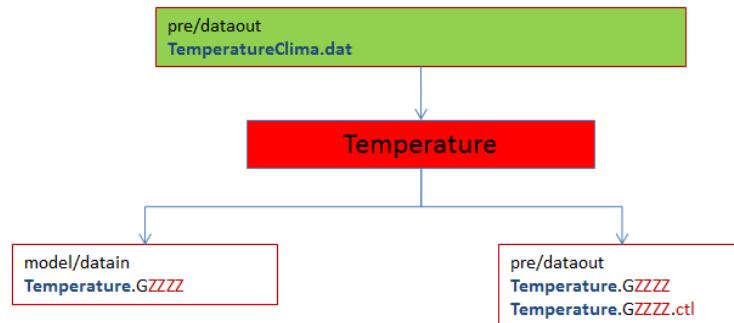
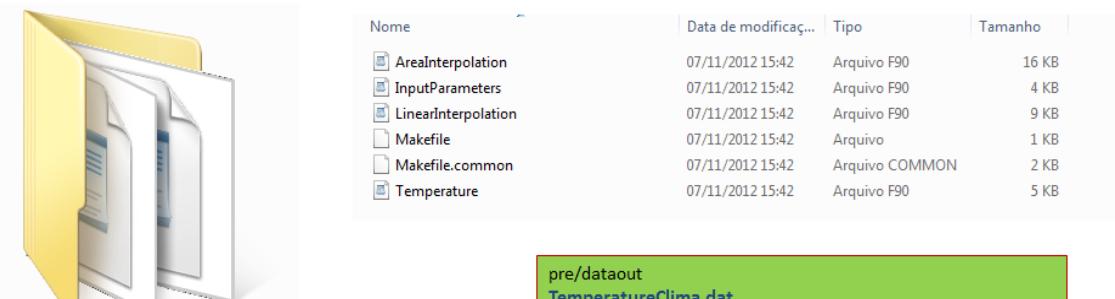
$$C_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = R_{nc} - H_c - \lambda E_c \quad (1)$$

em que C_c , R_{nc} , H_c e λE_c são a capacidade de calorífica da vegetação, os fluxos de saldo de radiação, calor sensível e calor latente no dossel, respectivamente. λ é o calor latente de vaporização.

No esquema IBIS-2.6 a condição inicial para a temperatura da copa (Dossel) é a temperatura média mensal climatologia à 2 metros da superfície. A Figura 44 mostra o pré-processamento da temperatura da copa utilizada pelo modelo IBIS-2.6.



(a)



(b)

Figura 44 - Pré-processamento da condição inicial da temperatura da copa para o esquema IBIS-2.6

A sub-rotina TemperatureClima.f90 realiza a primeira etapa do processamento, lendo os dados de temperatura do arquivo clmt.form e cria o mapa global de temperatura em uma resolução pré-definida de 0.5 graus. Estes dados são salvos no arquivo TemperatureClima.dat. A segunda etapa do processamento é executada pela sub-rotina Temperature.f90, a qual tem a função de interpolar os dados na grade e resolução utilizada pelo modelo BAM. O arquivo que será processado nesta etapa é o

TemperatureClima.dat, a subrotina Temperatura.f90 lê os dados deste arquivo e realiza a interpolação criando o arquivo Temperature.GZZZZ no diretório model/datain que será utilizado na execução do modelo. E os arquivos Temperature.GZZZZ e Temperature.GZZZZ.ctl são gerados no diretório pre/dataout, este arquivos são utilizados para visualização no software GrADS.

O pré-processamento dos dados da variação de temperatura mensal é utilizada para criar uma perturbação no campo de temperatura mensal. Na Figura 45 mostra a estrutura do fluxo de processamento dos dados da variação de temperatura mensal.

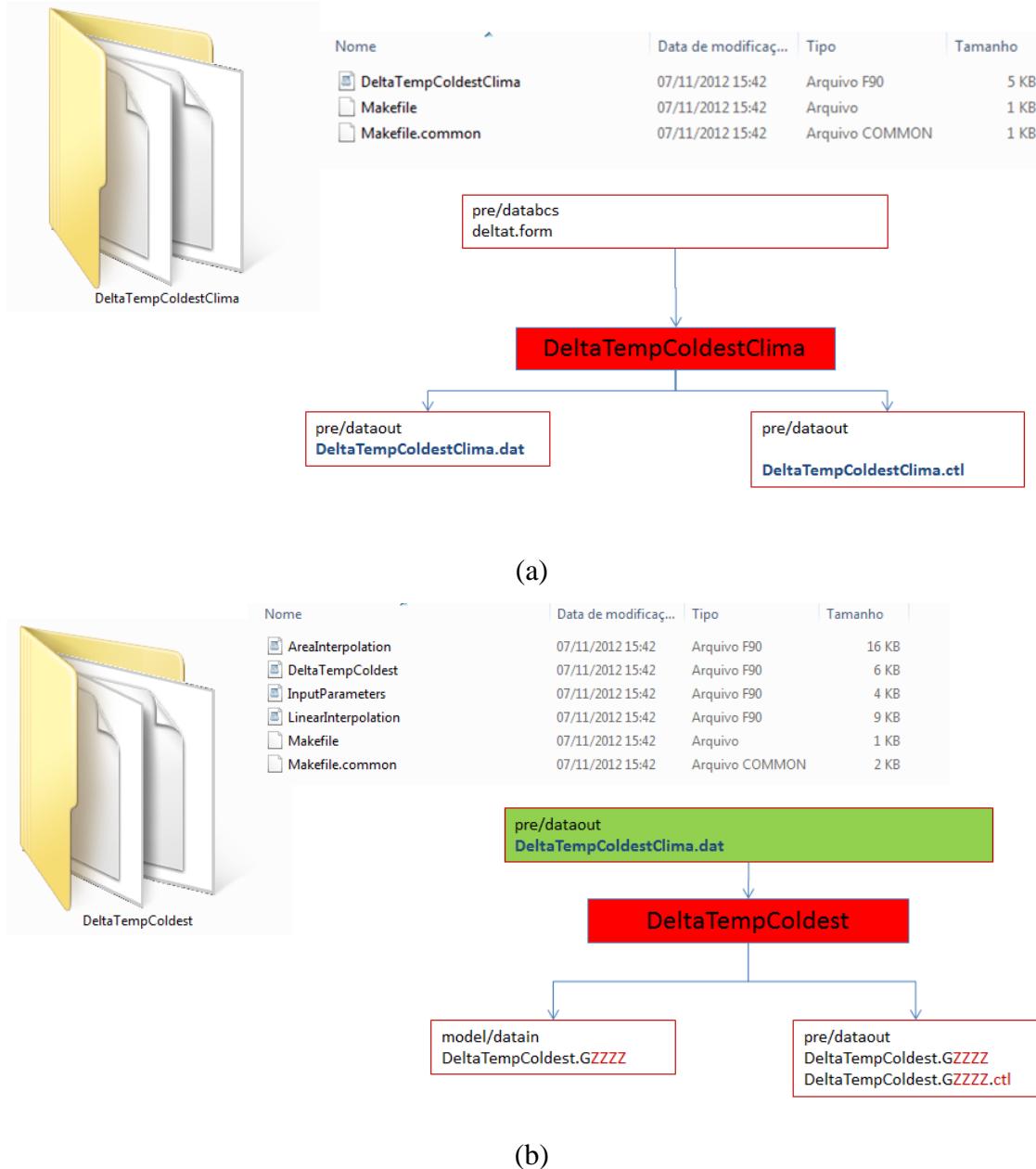


Figura 45 - Pré-processamento da variação de temperatura mensal para o esquema

IBIS-2.6.

A sub-rotina DeltaTempColdestClima.f90 realiza a primeira etapa do processamento, lendo os dados de temperatura do arquivo deltat.form e cria o mapa global da temperatura em uma resolução pré-definida de 0.5 graus. Estes dados são salvos no arquivo DeltaTempColdestClima.dat. A segunda etapa do processamento é executada pela sub-routine DeltaTempColdest.f90, a qual tem a função de interpolar os dados na grade e resolução utilizada pelo modelo BAM. O arquivo que será processado nesta etapa é o TemperatureClima.dat, a subrotina Temperatura.f90 Lê os dados deste arquivo e realiza a interpolação criando o arquivo Temperature.GZZZZ no diretório model/datain que será utilizado na execução do modelo. E os arquivos Temperature.GZZZZ e Temperature.GZZZZ.ctl são gerados no diretório pre/dataout, este arquivos são utilizados para visualização no software GrADS.

4.2 Temperatura da superfície do Solo e Temperatura do Solo Profundo

A temperatura do solo, T_{gs} , é descrita a partir da seguinte equação:

$$C_{gs} \frac{\partial T_{gs}}{\partial t} = R_{ngs} - H_{gs} - \lambda E_{gs} - G_{gs} \quad (2)$$

onde C_{gs} é a capacidade de calor efetiva do solo e R_{ngs} , H_{gs} e λE_{gs} são, respectivamente, os fluxos de saldo de radiação, calor sensível e calor latente da superfície do solo, e G_{gs} é o fluxo de calor no solo.

A equação para a temperatura do solo profundo, T_d , representativo da camada do solo dominada pelo ciclo anual é:

$$C_{gs} \frac{\partial T_d}{\partial t} = \frac{2(R_{ngs} - H_{gs} - \lambda E_{gs} - G_{gs})}{\sqrt{365\pi}} \quad (3)$$

As profundidades em que T_{gs} e T_d são calculadas no modelo SSiB e SiB-2.5 e IBIS-2.6 são fixas. No modelo T_{gs} e T_d podem variar no espaço e no tempo como uma função das propriedades do solo e umidade do solo, através das variações na capacidade de calor. Estes campos são prognosticados pelo modelo e, portanto, necessitam de uma condição inicial para integração. A Figura 46 mostra a estrutura e o programa de pré-

processamento utilizado para gerar a condição inicial destes campos é a sub-rotina DeepSoilTemperatureClima.f90, esta sub-rotina lê o arquivo tgdeep.form que contém um campo de temperatura do solo anual e gera o mapa global de temperatura do solo na resolução de 1 grau. O arquivo que contém o mapa com os dados é o DeepSoilTemperatureClima.dat gerado no diretório pre/dataout. A subrotina também gera outros 2 arquivos DeepSoilTemperatureClima.dat e DeepSoilTemperatureClima ctl para a visualização no software GrADS.

A Figura 47 mostra graficamente os dados de temperatura do solo profundo que estão no arquivo DeepSoilTemperatureClima.dat e DeepSoilTemperatureClimactl. Esta opção não é a única utilizada para a inicialização da temperatura do solo, veremos na documentação do modelo que esta inicialização pode ser feita com a temperatura ar do primeiro nível do modelo.

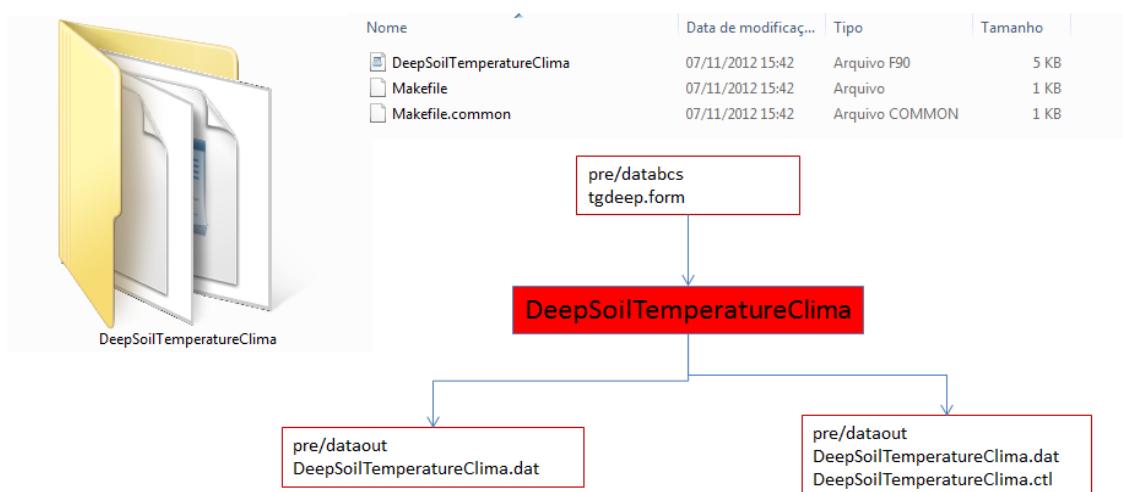


Figura 46 - Estrutura do pré-processamento da temperatura do solo profundo.

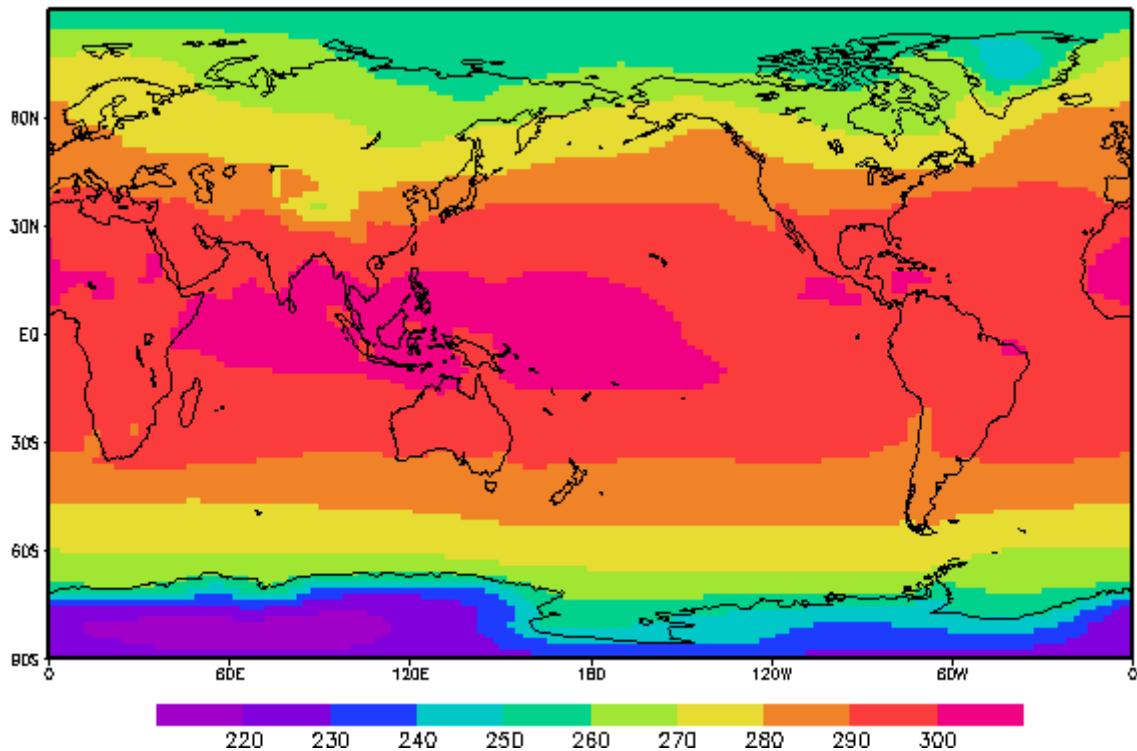


Figura 47 - Mapa anual de temperatura do solo Profundo gerado pela sub-rotina DeepSoilTemperatureClima.f90.

A interpolação da temperatura do solo profundo na resolução do modelo é realizada pela sub-rotina DeepSoilTemperature.f90. A Figura 48 mostra a estrutura desta etapa do pré-processamento.

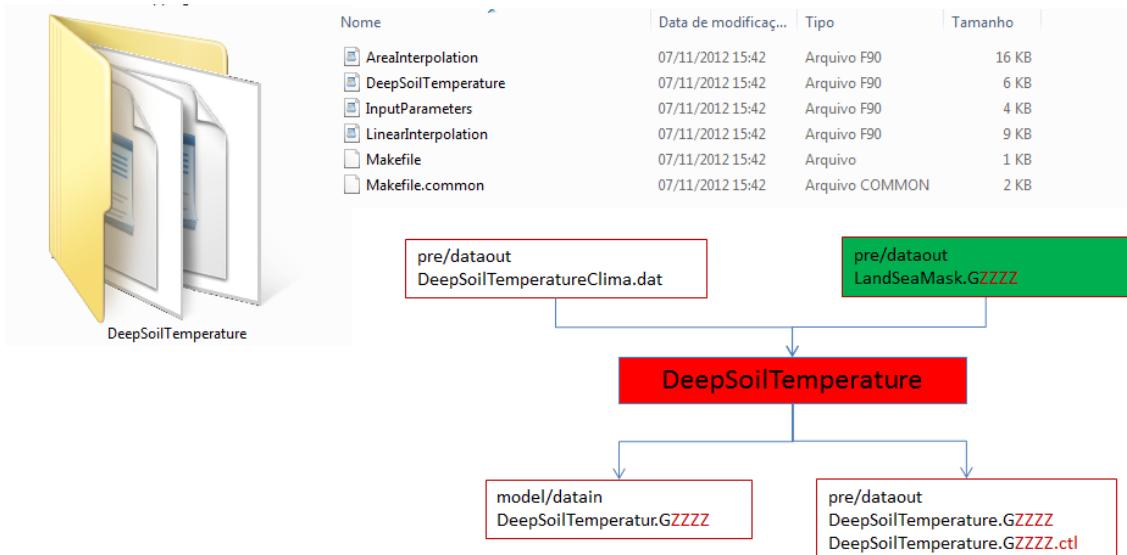


Figura 48 - Estrutura de pré-processamento que interpolara os dados de temperatura do solo profundo na resolução do modelo.

A subrotina DeepSoilTemperature.f90 lê o arquivo DeepSoilTemperatureClima.dat e LandSeaMask.GZZZZ. Os dados do arquivo LandSea Mask.GZZZZ são utilizados para realizar a composição da temperatura com a máscara oceano/continente e não gerar dados espúrios sobre o oceano ou continente. O resultado deste processamento são 3 arquivos. O arquivo DeepSoilTemperature.GZZZZ escrito no diretório model/datain contém o dado interpolado na resolução do modelo, e os arquivos DeepSoilTemperature.GZZZZ e DeepSoilTemperature.GZZZZ.ctl são os mesmos dados somente no formato para a visualização no software GrADS (Figura 49).

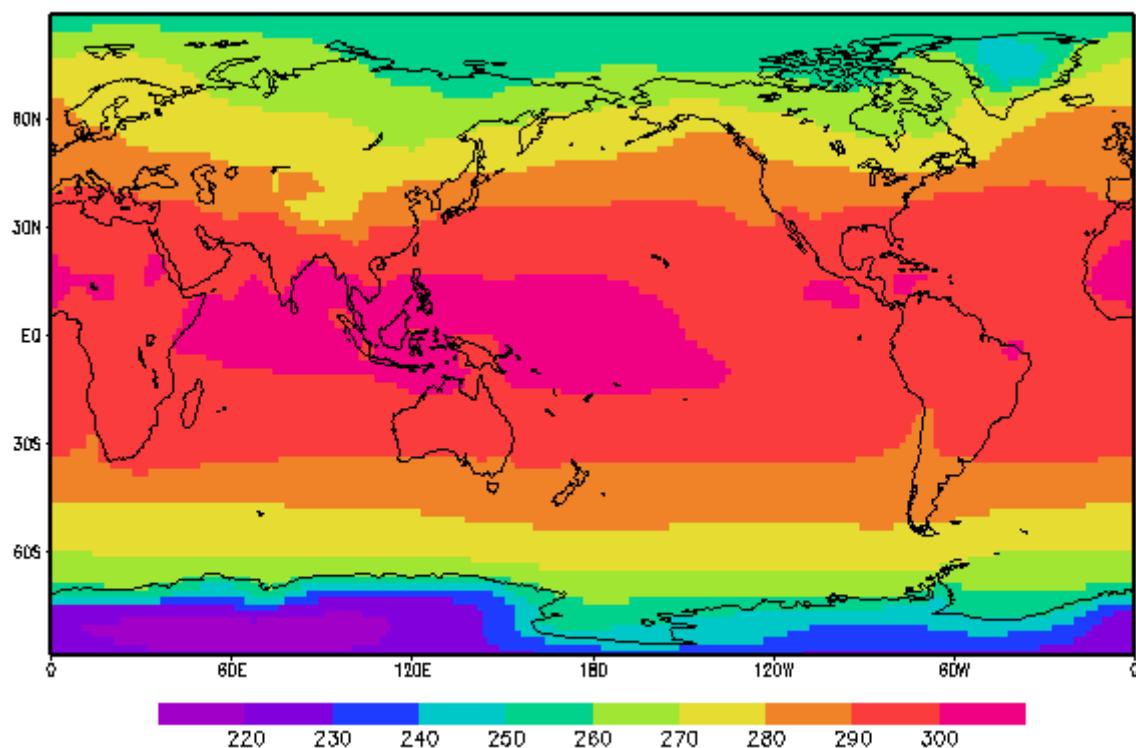


Figura 49 - Dados de temperatura do solo profundo interpolado na resolução do modelo.

4.3 Armazenamento de água devido à intercepção da precipitação

A evapotranspiração do dossel (E_c) é composta pela contribuição relativa da evaporação da água interceptada da fração úmida da folhagem (E_{wc}) e pela transpiração da folhagem da porção seca (E_{dc}). A transpiração é função direta do conteúdo de água extraído do

solo pelas raízes. A evapotranspiração total é a contribuição das componentes mencionadas acima, mais a evaporação do solo nu.

A equação prognóstica do armazenamento de água devido à interceptação da precipitação, M_C , é dada pela relação:

$$\frac{\partial M_C}{\partial t} = P_C - D_C - \frac{E_{WC}}{P_W} \quad (4)$$

onde P_C , D_C e E_{WC} são as taxas de precipitação efetiva sobre o dossel, drenagem do dossel e de evaporação da porção úmida da vegetação, respectivamente.

O campo de armazenamento de água devido à interceptação da precipitação, M_C , é uma variável prognóstica do modelo, portanto necessita de uma condição inicial. Para obter estes dados através de estimativas de satélite ou medidas através de instrumento em superfície é complicado. Assim, utiliza-se o campo de neve acumulado como condição inicial do modelo.

4.4 Composição entre o Albedo e a Neve

Para um tipo específico de vegetação, o albedo é uma função do estado da vegetação, do ângulo zenital e da cobertura de neve. O albedo da superfície é modelado com uma variação diurna, com o seu mínimo ocorrendo ao meio-dia local. Em virtude da variação do albedo com o ângulo solar ser bem regular, sua variação diurna é descrita a partir da seguinte equação quadrática:

$$\alpha = A \cos \xi + B \cos^2 \xi + C \delta + D \delta^2 + E \quad (5)$$

Os coeficientes da equação quadrática (A , B , C , D e E) dependem do tipo de vegetação, sendo ξ o ângulo zenital e δ a fração de cobertura de neve.

Para criar o campo de neve acumulada é necessário ter um campo de albedo climatológico. Este conjunto de dado de albedo será criado pela sub-rotina AlbedoClima.f90. Na primeira etapa, o programa lê o arquivo albedo.form com as informações de albedo e cria 2 arquivos, um com o mapa global com a distribuição de

albedo, este dado é colocado no arquivo AlbedoClima.dat e um arquivo AlbedoClima.ctl descriptor para o GrADS (Figura 50). A segunda etapa ocorre o processamento do algoritmo de interpolação, onde a sub-rotina Albedo.f90 lê o arquivo AlbedoClima.dat e interpola para a resolução do modelo.

Neste processo, o pré-processamento gera dois arquivos, o Albedo.GZZZZ e Albedo.GZZZZ.ctl, que serão utilizados para a visualização no GrADS e para a etapa do processamento da neve acumulada.



Figura 50 - Estrutura de pré-processamento do albedo para criação do mapa global do albedo (a) e interpolação para a resolução do modelo (b).

A Figura 51 mostra o resultado do pré-processamento do campo de albedo, a Figura 51a é o mapa da distribuição do campo de albedo e a Figura 51b é o resultado do algoritmo de interpolação.

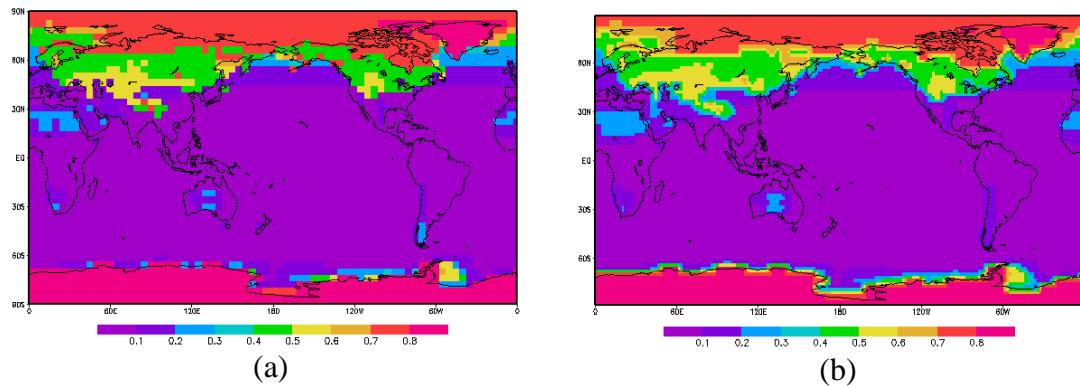


Figura 51 - Pré-processamento do albedo: distribuição climatológica global (a) e a interpolação para a grade do modelo (b).

Após a criação do mapa global da distribuição do albedo temos o início da etapa do pré-processamento da neve acumulada. A sub-rotina SnowClima.f90 contém o algoritmo que irá processar as informações da neve acumulada na superfície a partir das informações da distribuição global do albedo (ilustração na Figura 52). Os arquivos de entrada para a sub-rotina SnowClima.f90 são arquivos os Albedo.GZZZZ e o ModelLandSeaMask.GZZZZ. O algoritmo lê as informações do albedo e da máscara oceano/continente na resolução do modelo e faz a composição dos campos, criando a espessura da neve acumulada.

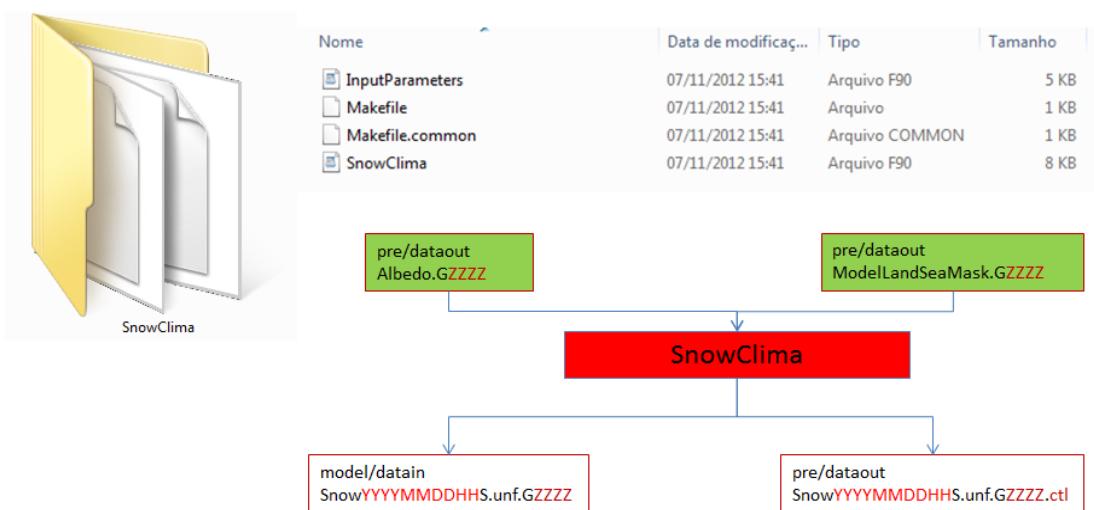


Figura 52 - Pré-processamento do campo da neve acumulada na superfície.

A sub-rotina SnowClima cria dois arquivos, o arquivo SnowYYYYMMDDHHS.unf.GZZZZ é criado no diretório /model/datain e é utilizado pelo modelo como condição inicial de armazenamento de água devido à interceptação da precipitação, e o arquivo utilizado para visualização no software GrADS. A Figura 53, mostra o resultado do pré-processamento da neve acumulada.

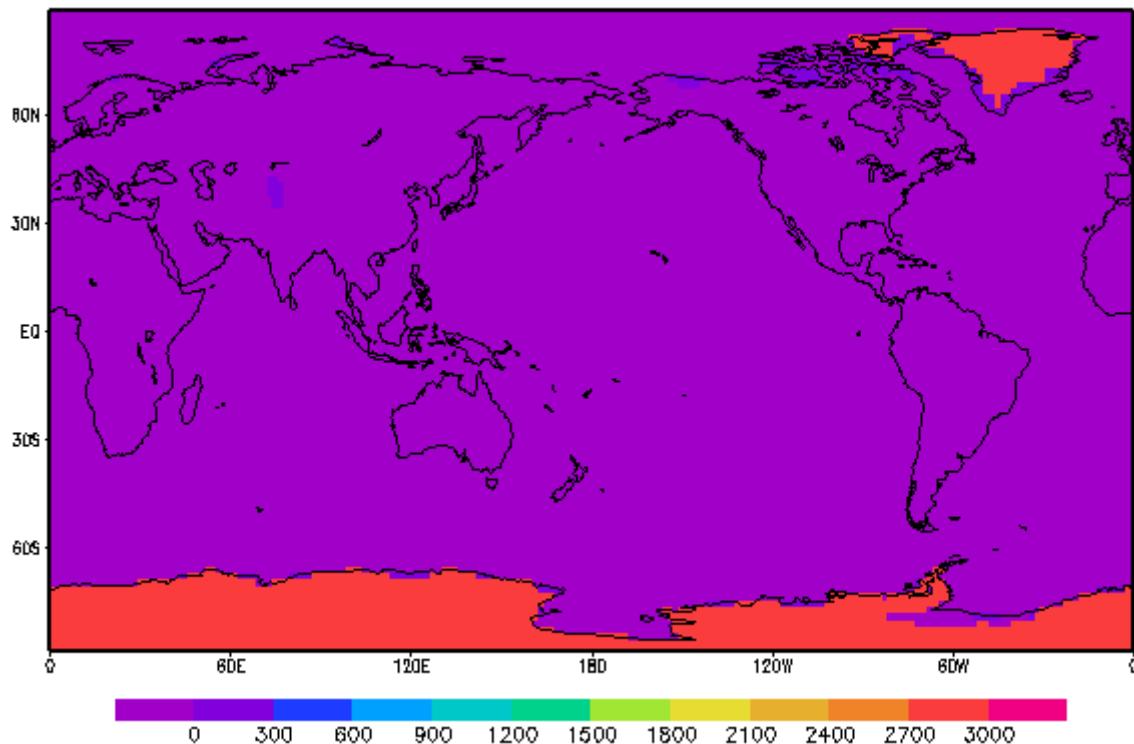


Figura 53 - Campo de neve acumulada gerada pelo pré-processamento.

Uma segunda forma de gerar a condição inicial de armazenamento de água devido à interceptação da precipitação é utilizando o dado de neve acumulada fornecida pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Este dado é uma estimativa obtida através das informações de satélites, possuem uma frequência de um dia. Atualmente este arquivo não vem sendo disponibilizado pelo centro.

A Figura 54 mostra a estrutura de processamento do arquivo de neve acumulada, que tem como arquivo de entrada o gdas1.Thhz.snogr.YYYYMMDDHH que disponibilizado pelo NCEP junto com as análises atmosféricas. O resultado final é colocado no arquivo SNOWWeeklyYYYYMMDD.GZZZZ no diretório model/datain. E no diretório pre/dataout estão os arquivos com o mesmo dado, porém no formato de visualização do software GrADS.

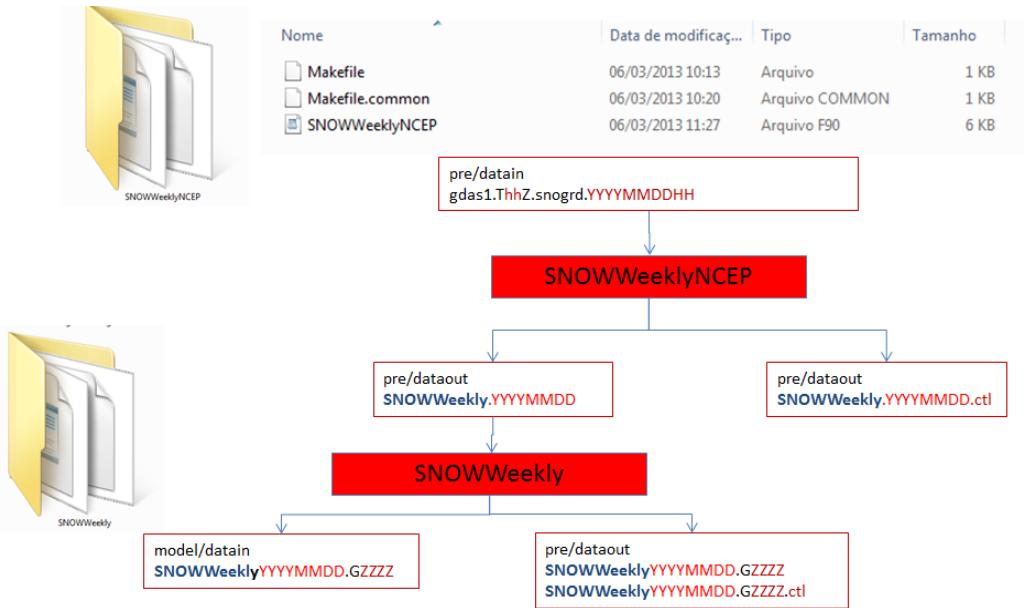


Figura 54 - Estrutura de processamento da neve acumulada gerada a partir dos dados do NCEP.

O resultado do pré-processamento da subrotina SNOWWEEKLY.f90 é colocado no arquivo SNOWWeeklyYYYYMMDD.GZZZZ e podem ser visualizados na Figura 55, os dados de neve estão na unidade de [kg/m³].

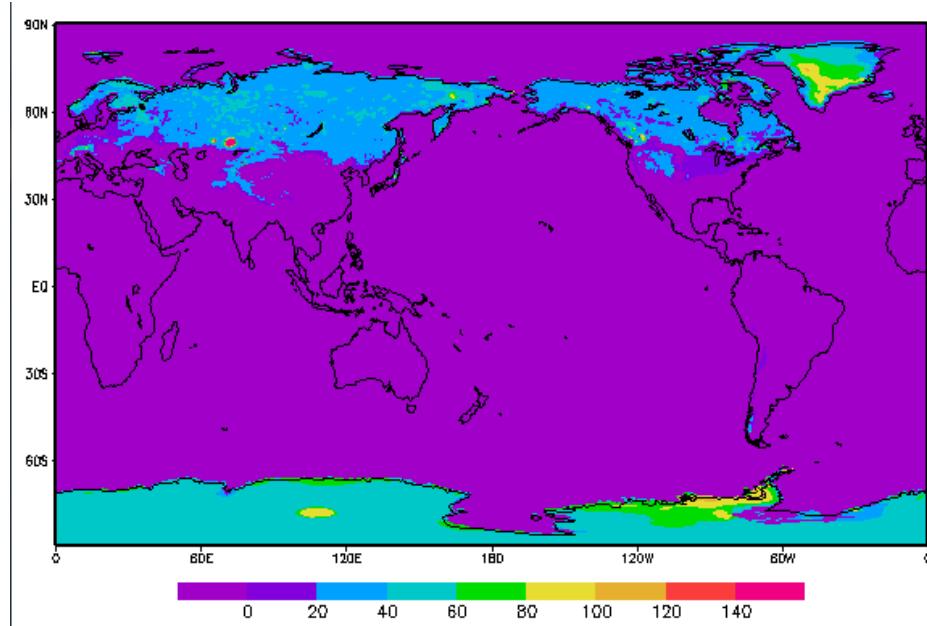


Figura 55 - Campo de neve acumulada gerada pelo pré-processamento dos dados do NCEP.

A equação para a espessura de neve, M_s , é:

$$\frac{\partial M_s}{\partial t} = P_s - S_m - W_f \quad (6)$$

onde P_s , S_m e W_f são a neve precipitante, a neve derretida e o congelamento de água, respectivamente.

4.5 Umidade do Solo

Para o prognóstico da umidade do solo em cada camada supõe-se o balanço hídrico, de forma que:

$$\frac{\partial W_1}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_1} \left[I - Q_{12} - \frac{1}{P_w} (E_{gs} + b_1 E_{dc}) \right] \quad (7)$$

$$\frac{\partial W_2}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_2} \left[Q_{12} - Q_{23} - \frac{1}{P_w} (b_2 E_{dc}) \right] \quad (8)$$

$$\frac{\partial W_3}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_3} [Q_{23} - Q_3] \quad (9)$$

em que W_i é o grau de saturação da umidade em cada camada do solo ($W_i = \theta_i / \theta_s$, $i = 1, \dots, 3$) e θ_i a umidade volumétrica do solo. D_i é a espessura da i -ésima camada do solo e os termos $Q_{i,j}$ representam a transferência de água entre a i -ésima e a j -ésima camadas e Q_3 é definido como o escoamento por drenagem gravitacional para o aquífero. E_{dc} é a extração de umidade na i -ésima camada do solo por transporte do dossel; I é a infiltração da precipitação na camada superficial ($I = D_C - R_U$, sendo R_U o runoff instantâneo da superfície). Os coeficientes b_i ($i = 1, 2, 3$) são fatores fracionais que dependem da distribuição da raiz.

A umidade do solo é inicialmente especificada, uma vez que o modelo de superfície prevê a umidade do solo em cada uma das três camadas. Os conjuntos de dados que são utilizados foram obtidos das análises de balanço hídrico de Willmott et al. (1985), para médias mensais climatológicas, ou para um mês específico. Os dados são disponíveis em uma grade de $1^\circ \times 1^\circ$, e são interpolados para a grade gaussiana do modelo. Os dados de umidade do solo são convertidos para fração de umidade do solo, e distribuída

para as três camadas de armazenamento de umidade do solo do modelo, como explicado em Sato et al. (1989b).

Como a umidade é uma variável prognóstica é necessária uma condição inicial, a Figura 55 mostra a estrutura do pré-processamento da umidade do solo. Na primeira etapa, a sub-rotina SoilMoistureClima.f90 lê o arquivo soilms.form que contém o dado climatológico de umidade do solo e em seguida gera o mapa global de distribuição de umidade na grade de 1 X 1 grau, este dado é colocado no diretório pre/datain no arquivo SoilMoistureClima.dat. O arquivo descritor SoilMoistureClima.ctl possibilita a visualização no software GrADS (ilustração do diretório na Figura 56).

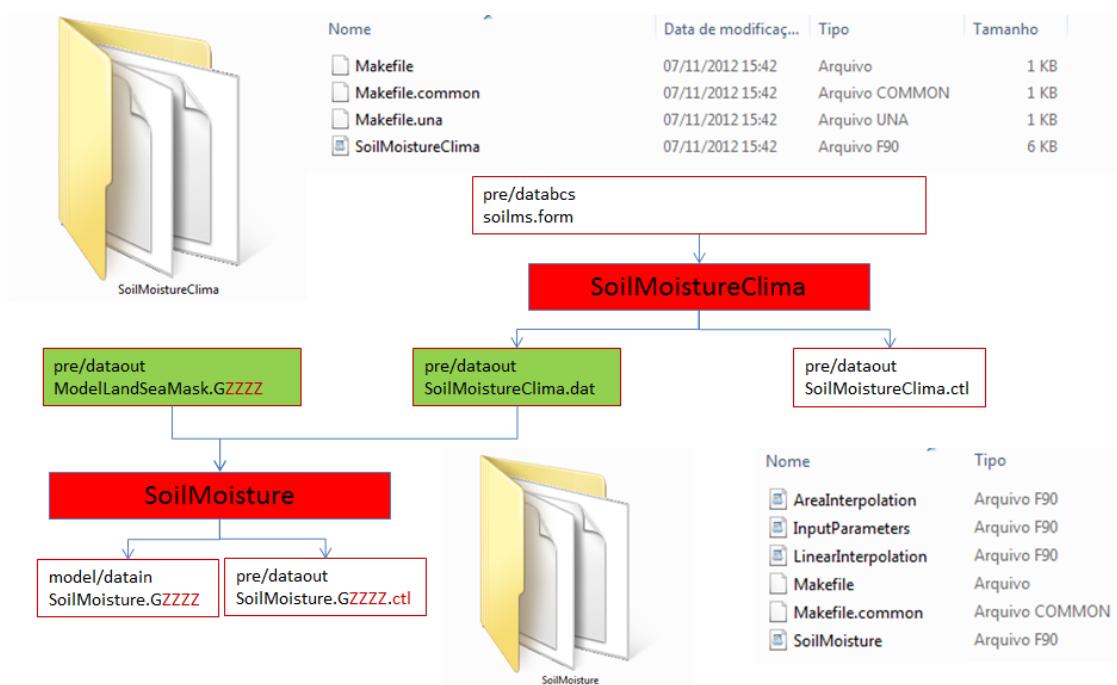


Figura 56 - Estrutura de processamento da umidade do solo climatológica.

Na segunda etapa a sub-rotina SoilMoisture.f90 lê o arquivo SoilMoistureClima.dat e a máscara oceano/continente ModelLandSeaMask.GZZZZ e o algoritmo realiza a intersecção e a interpolação dos campos. No processamento os dados são gerados na grade e resolução do modelo e colocados no diretório model/datain no arquivo SoilMoisture.GZZZZ, o arquivo descritor SoilMoisture.GZZZZ.ctl é colocado no diretório pre/dataout. O resultado do pré-processamento da umidade do solo é mostrado na Figura 57.

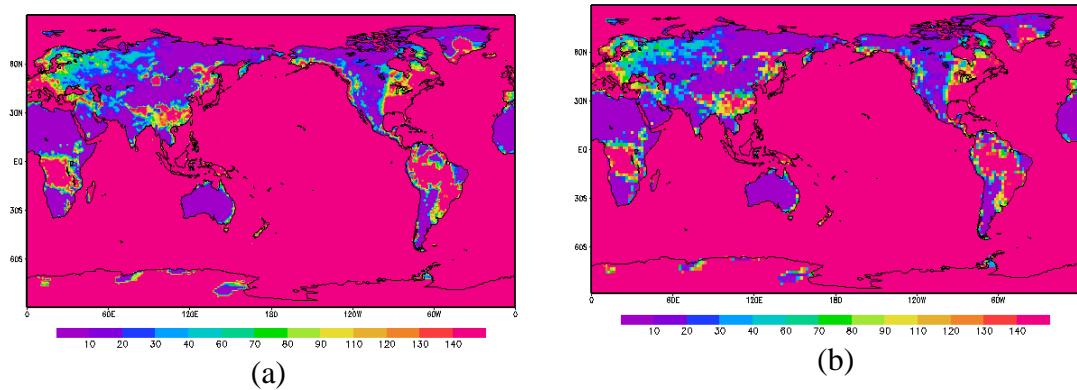


Figura 57 - Campo de umidade do solo climatológica gerada pelo pré-processamento.

Uma outra opção para a inicialização do modelo é utilizar a umidade do solo gerada diariamente no CPTEC. A Figura 58 mostra a estrutura do processamento deste conjunto de dados.

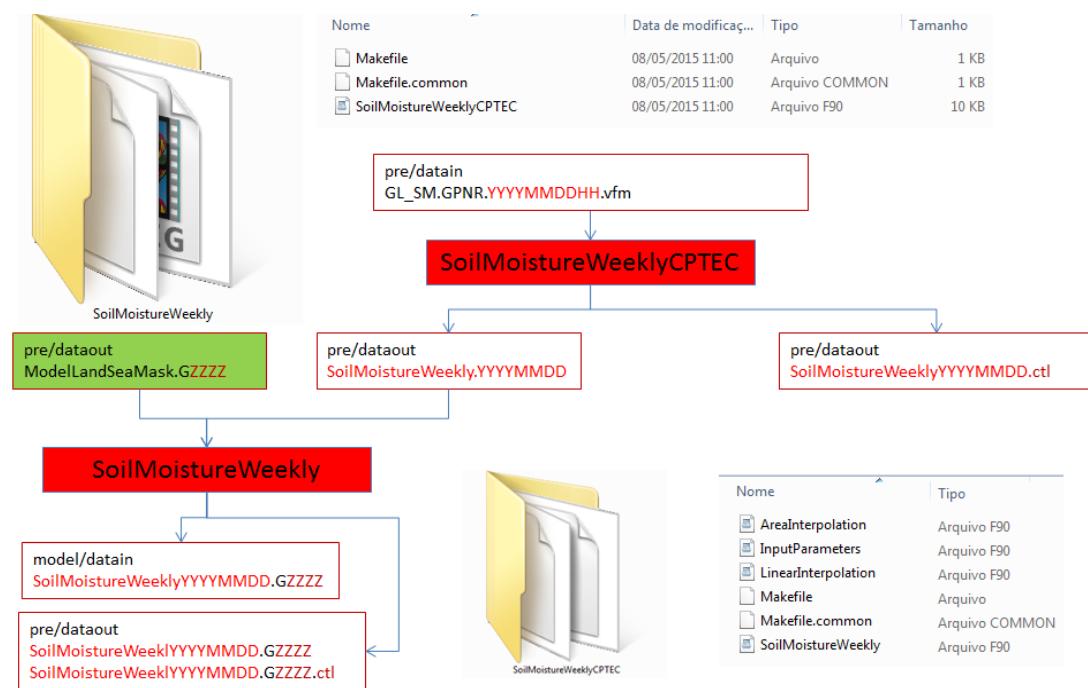


Figura 58 - Estrutura de processamento da umidade do solo climatológica.

4.6 Condição Inicial para a atmosfera.

A atmosfera é governada por um conjunto de equações chamadas de as **equações de Navier Stokes**, que são equações diferenciais (equação de conservação de momentum. energia, massa, traçadores, equação de estado) que descrevem o escoamento de fluídos. As derivadas parciais permitem determinar os campos de velocidade e de pressão de um escoamento. No modelo BAM, as variáveis prognosticadas por estas equações são vorticidade, divergência temperatura, umidade, traçadores e pressão. Portanto, para executar o modelo é necessário gerar o estado da atmosfera para estas variáveis no instante inicial da integração (a condição inicial)

Foi desenvolvido um algoritmo de pré-processamento da **condição Inicial para a atmosfera** e transcrito em linguagem Fortran 95 utilizando a biblioteca de paralelismo de memoria distribuída (MPI) o programa foi colocado no arquivo **Chopping_parallel.f90**. Este algoritmo, lê um conjunto de dados (topografia, Ln da pressão de superfície, temperatura virtual, Divergência, Vorticidade, umidade específica, ozônio e traçadores) do arquivo gdas1.ThhZ.Sanl.YYYYMMDDHH. Este arquivo é chamado de análise da atmosfera, e é gerado no NCEP através do algoritmo de assimilação de dados. Para a interpolação vertical o algoritmo lê o arquivo DeltaSigma.LZZZ que contém a variação do nível sigma para o qual se deseja interpolar. Outro arquivo que é utilizado no processo é a topografia espectral Topography.TQXXXX, tem a finalidade se substituir a topografia de baixa resolução que está presente no arquivo de análise. A Figura 59 mostra a estrutura do pré-processamento da análise até gerar a condição inicial do modelo.

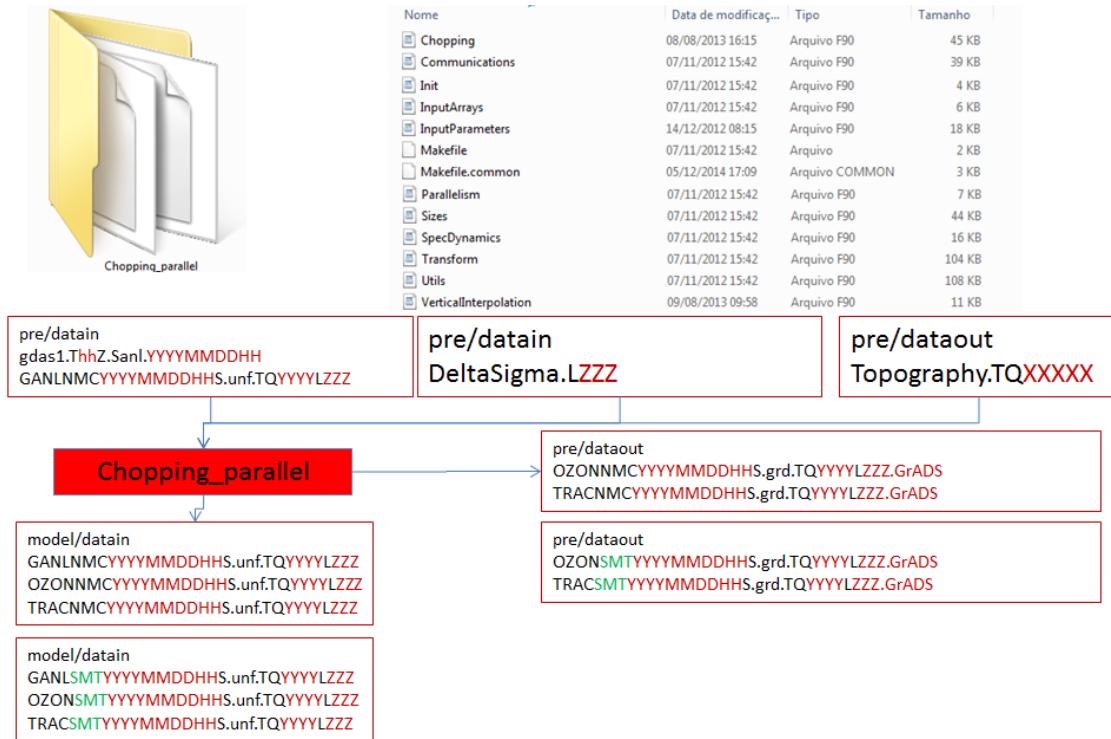


Figura 59 - Estrutura de processamento da condição inicial da atmosfera.

O algoritmo do processamento da condição inicial lê os dados no formato espectral realiza a transformada do espaço espectral para o espaço físico. Na etapa seguinte ajusta as variáveis à nova topografia e realiza a interpolação vertical. A interpolação horizontal é realizada no espaço espectral através da manipulação dos números de ondas.

O processamento gera 5 arquivos, no diretório model/datain está o arquivo GANLNMCYYYYMMDDHHS.unf.TQYYYYLZZZ, que contém as variáveis prognósticas do modelo, no arquivo OZONNMCYYYYMMDDHHS.unf.TQYYYYLZZZ está o campo de ozônio e no arquivo TRACNMCYYYYMMDDHHS.unf.TQYYYYLZZZ é colocado os traçadores (água líquida). Quando estes arquivos são com o prefixo SMT ao invés de NMC é porque sofreram amortecimento (suavização). Os resultados na resolução do modelo que são colocados no diretório pre/dataout são os arquivos utilizados na visualização pelo software GrADS. O arquivo OZONNMCYYYYMMDDHHS.grd.TQYYYYLZZZ.GrADS contém o dado de ozônio e os traçadores são colocados no arquivo TRACNMCYYYYMMDDHHS.grd.TQYYYYLZZZ.GrADS. Os dados da condição

inicial para visualização no GrADS está no arquivo GANLNMCYYYYMMDDHHS.unf.TQYYYYLZZZ.GrADS. Os resultados do processamento estão plotados nas Figuras 60 e 61.

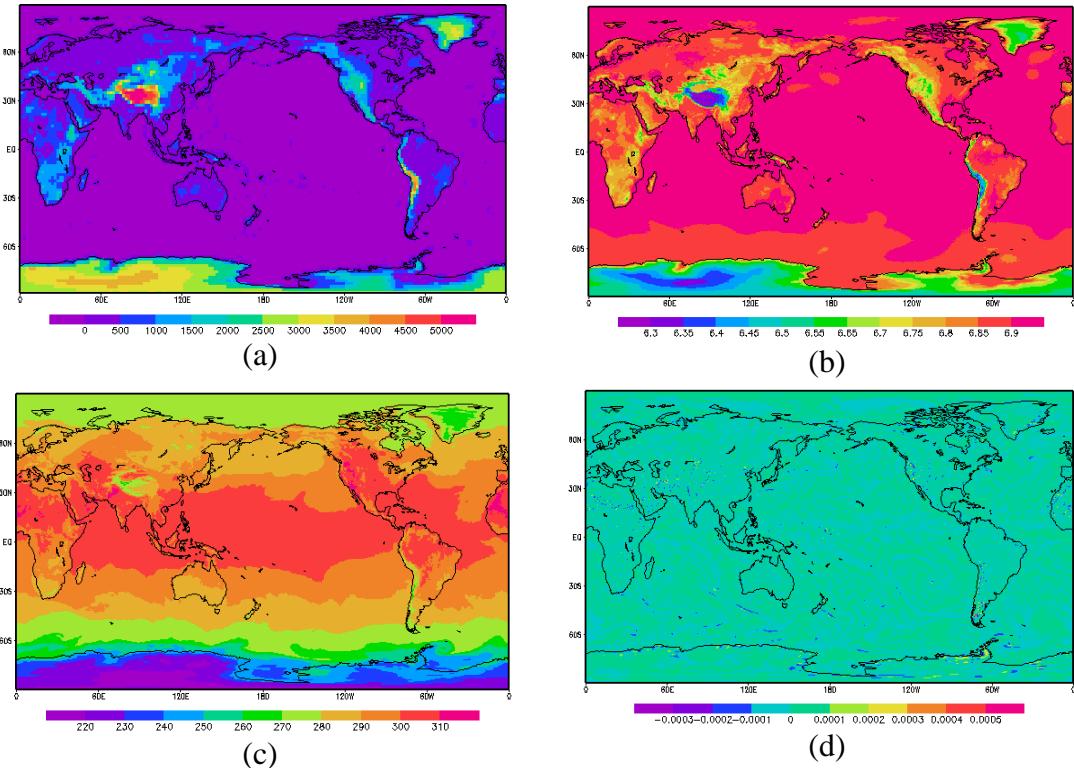
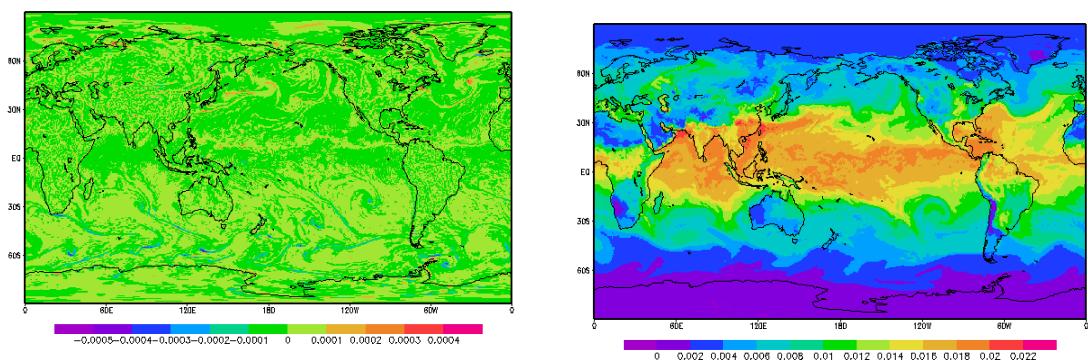


Figura 60 - Resultado do processamento da condição inicial da atmosfera. Topografia (m) (a), Pressão de superfície (b), Temperatura Virtual (c) e Divergência (d).



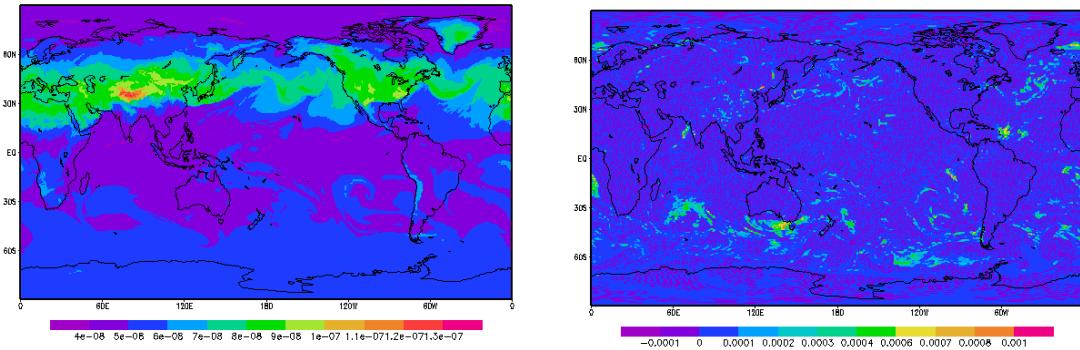


Figura 61 - Resultado do processamento da condição inicial da atmosfera: Vorticidade (a), Umidade Específica (b), Ozônio (c) e Traçadores (d).

4.7 Temperatura da Superfície do Mar

As informações de temperatura da superfície do mar e gelo marinho são derivadas do conjunto de dados do Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (*COADS*)/*ICE SST climatology* (Slutz et al., 1985). Esta climatologia é global, disponível em uma grade de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, e representa as médias mensais, mediadas sobre o período de 1950 a 1979. O conjunto de dados combina os dados *in situ* do COADS com os limites das médias mensais do gelo marinho, derivados de satélite, climatológicos (Reynolds e Roberts, 1987).

A temperatura da superfície do mar (TSM) é interpolada para uma frequência temporal de 6 horas durante a integração do modelo, este procedimento usa a interpolação linear entre as médias mensais, semanais ou outros intervalos. Estes campos de TSM são lidos a partir do conjunto de dados, conforme a preparação dos dados discutida abaixo. O valor observado da TSM é modificado em cada ponto de grade do modelo, através de uma correção invariante no tempo, para levar em conta a elevação não nula introduzida em alguns pontos do oceano pelo truncamento espectral da topografia do modelo. A correção é calculada como o produto da topografia e um *lapse-rate* constante de $6,5^{\circ}$ K km $^{-1}$. O valor médio mensal de tal conjunto de dados fornece o valor do campo do modelo, que é suposto ser válido instantaneamente no meio do mês. Um valor do campo para um dia na primeira metade do mês é obtido através de interpolação linear da média mensal do mês anterior e do mês corrente. Analogamente, um valor do campo do modelo para um dia na última metade do mês é obtido das médias mensais para o mês atual e o mês subsequente. Desta forma, um campo que varia suavemente no tempo

pode ser construído. Note que isto pode introduzir uma suavização que não é observada e pode representar imprecisamente os campos médios mensais (Killworth, 1996).

4.8 Gelo do Mar

Para a TSM, é necessário distinguir entre pontos de mar aberto e pontos de gelo do mar, bem como considerar possíveis transições de mar aberto para gelo do mar (e vice-versa). No modelo, esta distinção é feita quando a superfície do mar está acima ou abaixo da temperatura de congelamento da água do mar (-2° C). A transição entre pontos de gelo do mar e pontos de mar aberto é obtida através de interpolação linear. Assim, considerando, por exemplo, um conjunto de dados de TSM mensais com pontos de gelo do mar com TSM de -3°C, através do método de interpolação linear, cada ponto é checado para o valor de temperatura interpolado: se a temperatura está abaixo de -2°C, supõe-se um ponto de gelo do mar e a temperatura naquele ponto é tratada como uma variável prognóstica, cujo valor inicial é -3°C; uma vez que a TSM está acima de -2°C, a TSM interpolada no tempo é usada naquele ponto. A transição de mar aberto para gelo do mar é feita quando a TSM interpolada no tempo em um ponto decresce para valores abaixo de -2°C. O ponto permanece um ponto de gelo do mar até que a TSM interpolada no tempo aumenta para valores acima de -2°C. O ponto é então definido para a TSM interpolada no tempo e a TSM prevista anteriormente, válida para aquele tempo, é ignorada.

4.9 Preparação dos conjuntos de dados de TSM

Os conjuntos de dados de TSM usados pelo modelo são interpolados para a grade gaussiana do modelo. Atualmente, uma interpolação na área é utilizada separadamente para a TSM e o gelo do mar. Quando uma região tem uma área média de gelo do mar maior ou igual a 50%, esta região é definida como um ponto de gelo do mar, com um valor de 270,2 K (-3°C). Locais sem gelo do mar têm um valor da TSM interpolada ou um valor de 271,4 K, dependendo de qual for o maior valor. Devido ao *Gibbs aliasing*, TSM em locais próximos ao continente frequentemente não serão interpretados como originados ao nível do mar. Ao contrário, a TSM será vista como se fosse uma superfície para a topografia espectral da superfície, transformada para a grade gaussiana do modelo. Isto pode “aumentar” a TSM para elevações de 3 km ou mais. Para evitar

aquecimento espúrio, a TSM (excluído os pontos de gelo do mar) é ajustada pela topografia da superfície re-transformada pelo modelo, usando o lapse-rate atmosférico padrão de $-6,5 \text{ K km}^{-1}$. A Figura 62 mostra a estrutura de processamento da Temperatura da superfície do mar climatológica e a Figura 63 mostra os resultados do processamento da temperatura da superfície do mar climatológica.

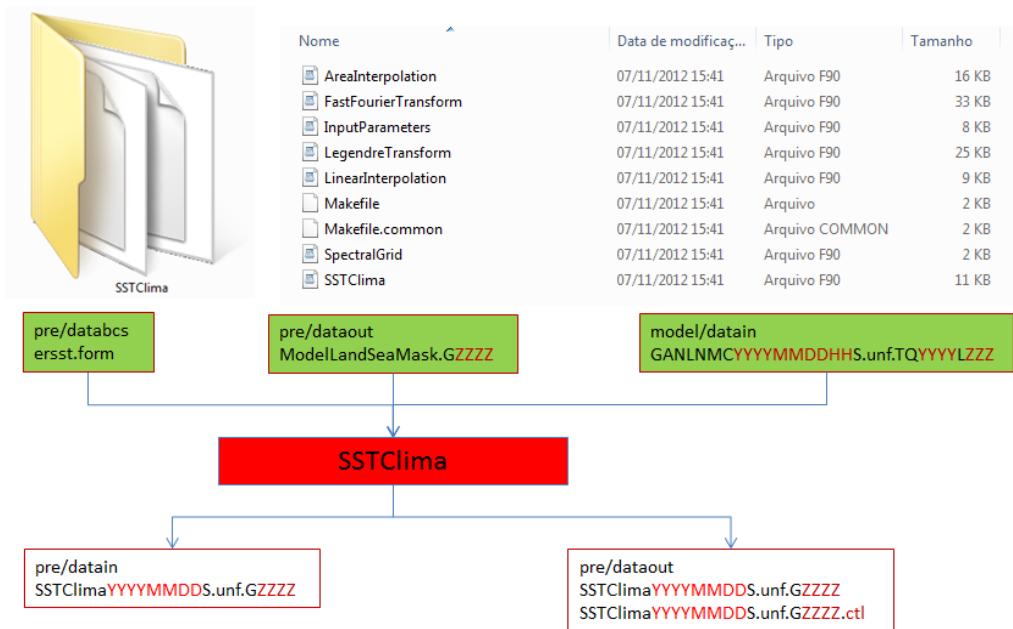


Figura 62 - Estrutura de processamento da Temperatura da superfície do mar climatológica.

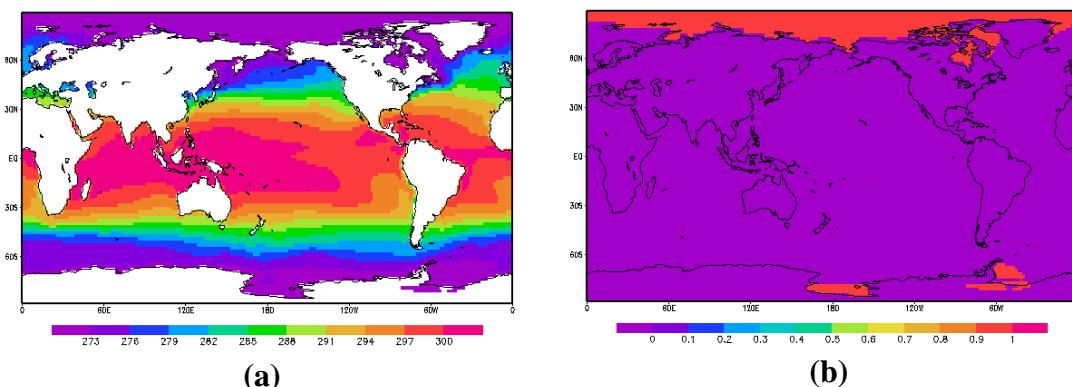


Figura 63 - Resultados do processamento da Temperatura da superfície do mar climatológica. TSM climatológica corrigida pela topografia (a) [K] e Máscara de gelo marinho [1:Gelo Marinho 0:Não gelo] (b).

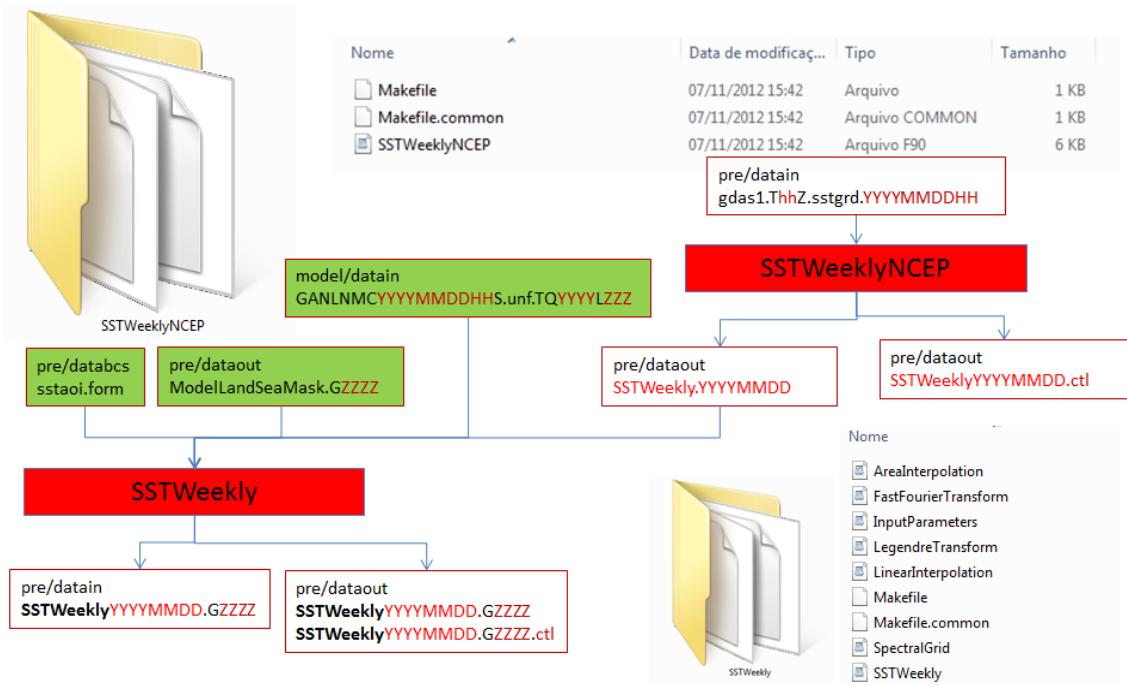


Figura 64 - Estrutura de processamento da Temperatura da superfície do mar média semanal.

O mesmo procedimento é realizado para os dados de temperatura da superfície do mar semanal.

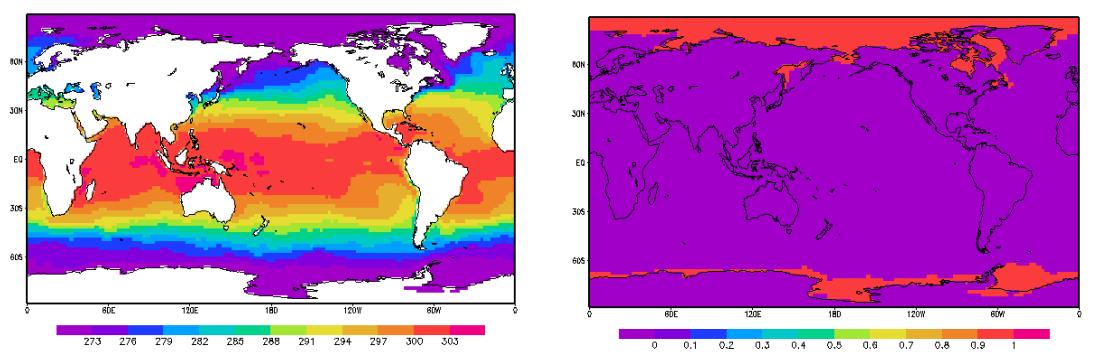


Figura 65 - Resultados do processamento da Temperatura da superfície do mar semanal TSM climatológica corrigida pela topografia (a) [K] e Máscara de gelo marinho [1:Gelo Marinho 0:Não gelo] (b).

4.10 Ozônio

O modelo utiliza um conjunto de dados de climatologia media sazonal da concentração de ozônio. Os valores são especificados por interpolação de uma Tabela que contém a razão de mistura do ozônio assim, para cada nível do modelo é definido um valor de ozônio, para cada intervalo de cinco graus de latitude e para cada uma das quatro estações.

Outro conjunto de dados de ozônio que pode ser utilizado pelo modelo é extraído da análise do NCEP. O pré-processamento é descrito no fluxograma do programa Chopping.ksh.

5 - Considerações Finais

Este relatório é importante para a documentação do pré-processamento de dados para a execução do modelo BAM operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE. Assim, qualquer usuário será capaz de compreender, modificar e utilizar o pré-processamento do modelo BAM.

6 – Referência Bibliográfica

BODEN, S.A.; CAVANAGH, C.; CULLIS, B.R.; RAMM, K.; GREENWOOD, J.; JEAN FINNEGAR, E., TREVASKIS, B.; SWAIN, S.M. Ppd-1 is a key regulator of inflorescence architecture and paired spikelet development in wheat. **Nat. Plants** 1: 14016, 2015.

DORMAN, J.L.; SELLERS, P.J. A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere Model (SiB). **Journal of Applied Meteorology**, 28: 833-855, 1989.

FOLEY, J. A.; Prentice, I.C.; Ramankutty, N.; Levis, S.; Pollard, D.; Sitch, S.; Haxeltine, A. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. **Global Biogeochemical Cycles** 10: 603–628, 1996.

KILLWORTH, P. D.; CARMACK, E. C. ; WEISS, R. F.; MATEAR, R. Modeling deep- water renewal in Lake Baikal, **Limnol. Oceanogr.**, 41, 1521–1538, 1996.

KUCHARIK, C.J.; FOLEY, J.A.; DELIRE, C.; FISHER, V.A.; COE, M.T.; LENTERS, J.D.; YOUNG-MOLLING, C.; RAMANKUTTY, N.; NORMAN, J.M.; GOWER, S.T. Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: water balance, carbon balance, and vegetation structure. **Global Biogeochem Cycles**, 14: 795-825, 2000.

KUCHLER, A. W. World map of natural vegetation. Goode's World Atlas, 16th edition., New York Rand McNally, 1983.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. Um modelo de vegetação potencial para estudos climáticos. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu - PR. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002.

REYNOLDS, R. W.; ROBERTS, L. A global sea surface temperature climatology from in situ, satellite and ice data. **Trop. Ocean-Atmos. Newslett.**, 37, 15-17, 1987.

SATO, N. et al. Implementing the simple biosphere model in a general circulation model: Methodologies and results. NASA Contractor Report 185509, 76 pp.

SLUTZ, R.J. et al. Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set; Release 1. NOAA Environmental Research Laboratories, Climate Research Program, Boulder, CO, 268 pp. WMO, 1985.

GESCH, D.B.; LARSON, K.S. Techniques for development of global 1-kilometer digital elevation models, in Proceedings, Pecora Thirteen Symposium, Sioux Falls, South Dakota, August 20-22, 1996 (CD-ROM), Am. Soc. for Photogrammetry and Remote Sens., Bethesda. Md., 1998.

SELLERS, P. J.; LOS, S. O.; TUCKER, C. J.; JUSTICE, C. O.; DAZLICH, D. A.; COLLATZ, D. J.; RANDALL, D. A. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part2:The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters froms atellite data. **Journal of Climate**, 9, 706- 737, 1996.

XUE, Y.; SELLERS, P. J.; KINTER, J. L.; SHUKLA, J. A. simplified biosphere model for global climate studies. **Journal of Climate**, 4, 345-364, 1991.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.;
LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and
comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.C5, p.8995-
9005, 1985.