



BESM  
Brazilian Earth System Model

# Visão Geral e Estado do Desenvolvimento MCGA-CPTEC/INPE

*Paulo Yoshio Kubota  
CPTEC, C. Paulista, Brasil  
9 abril, 2015*



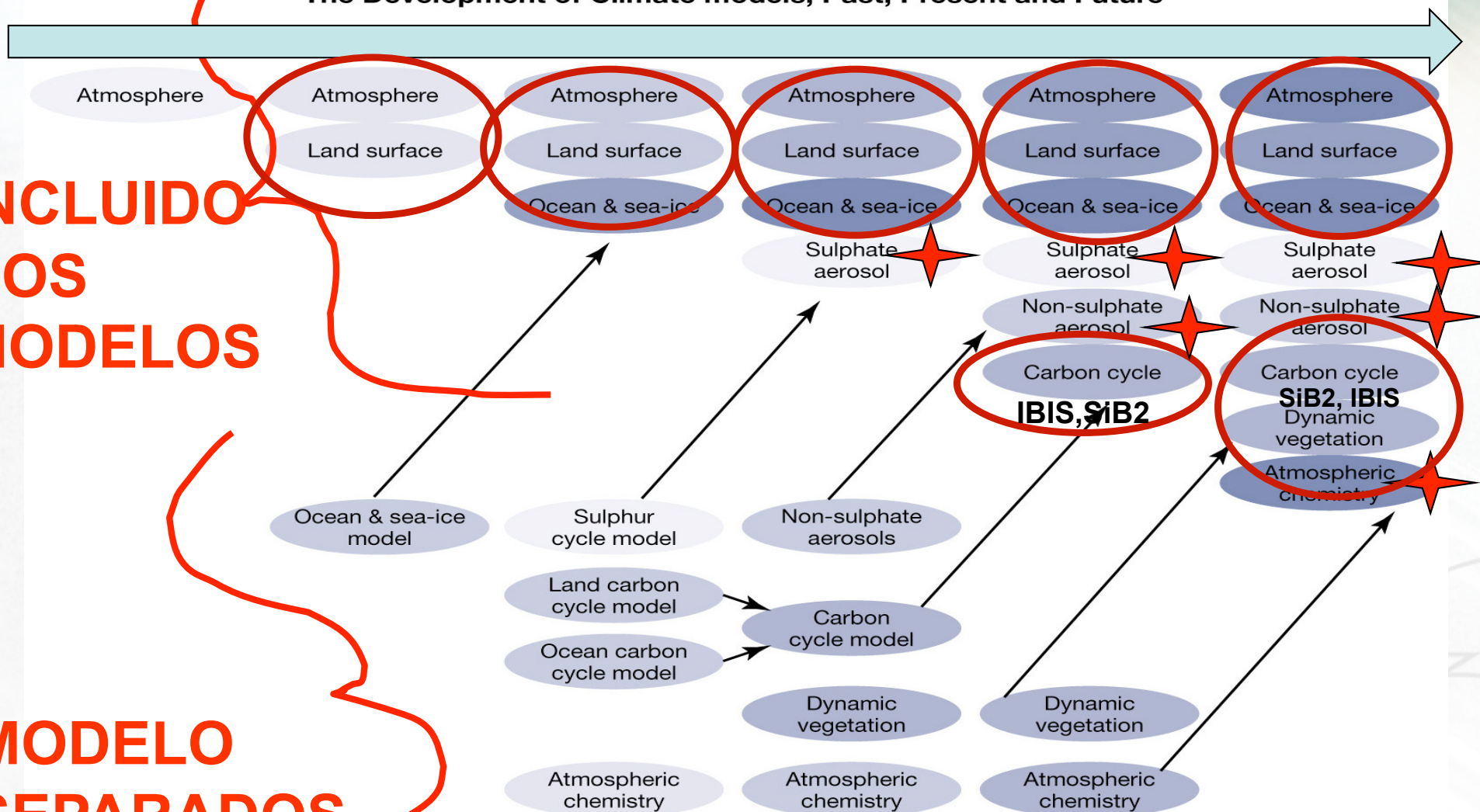
Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



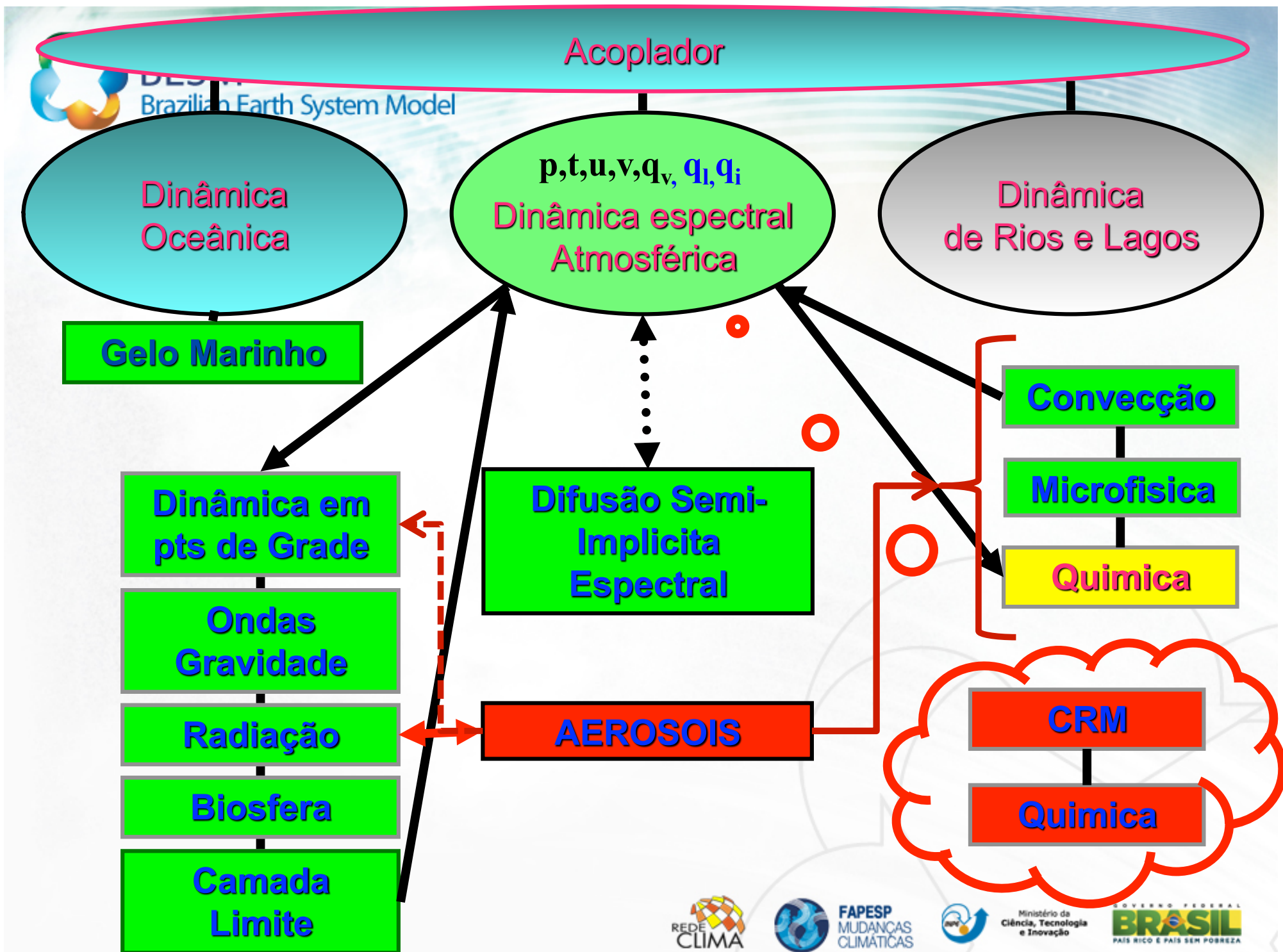
## The Development of Climate models, Past, Present and Future

**INCLUIDO  
NOS  
MODELOS**

**MODELO  
SEPARADOS**



Copyright © 2004 Pearson Prentice Hall, Inc.

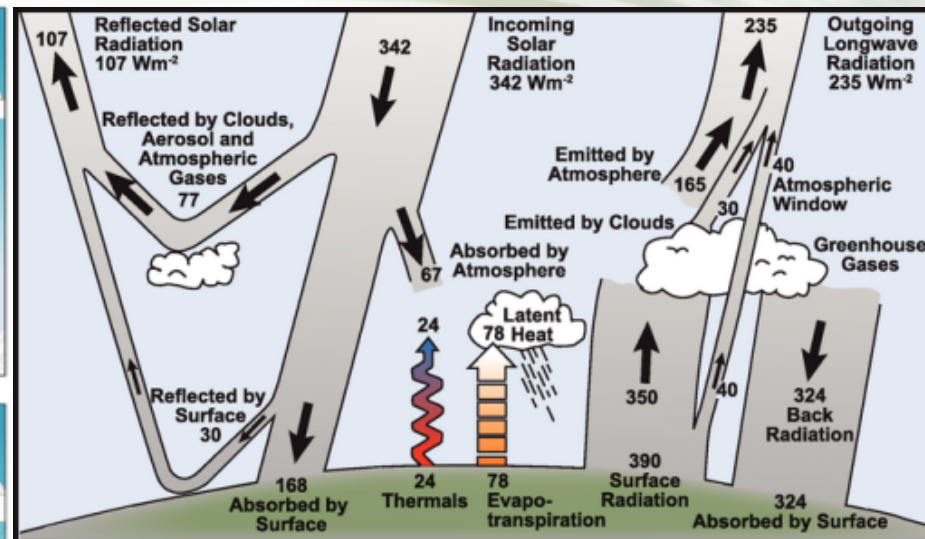
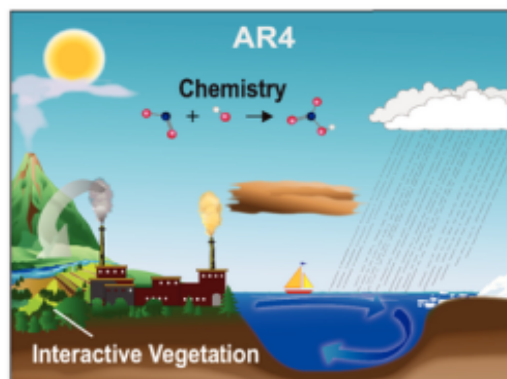
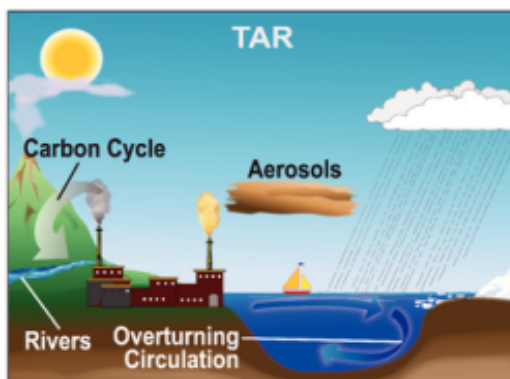
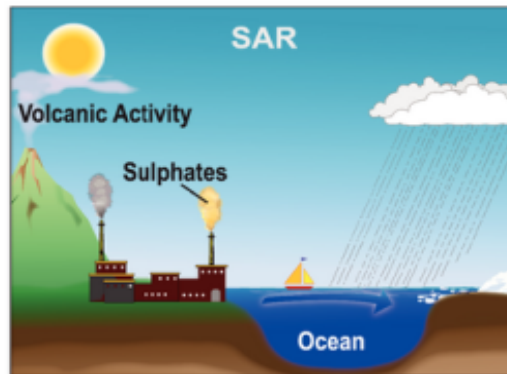
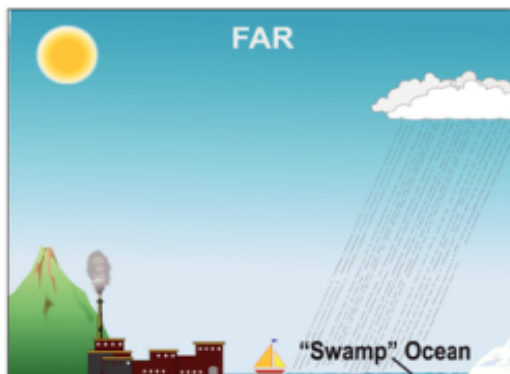
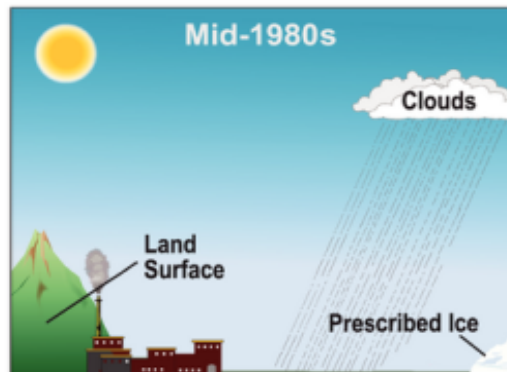
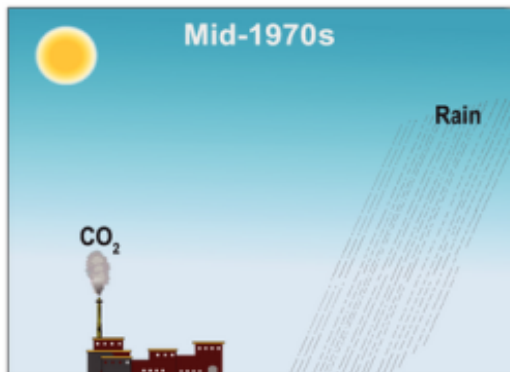






**BESM**  
Brazilian Earth System Model

## The World in Global Climate Models



Fonte: Kiehl and Trenberth (1997) [<http://www.eoearth.org/view/article/153654/>].

<http://www.eoearth.org/view/article/153654/>



Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação





BESM  
Brazilian Earth System Model

# Em Desenvolvimento



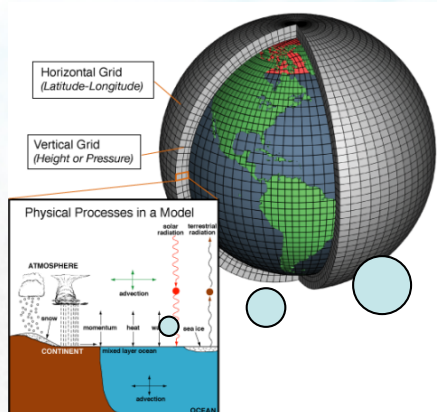
Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA



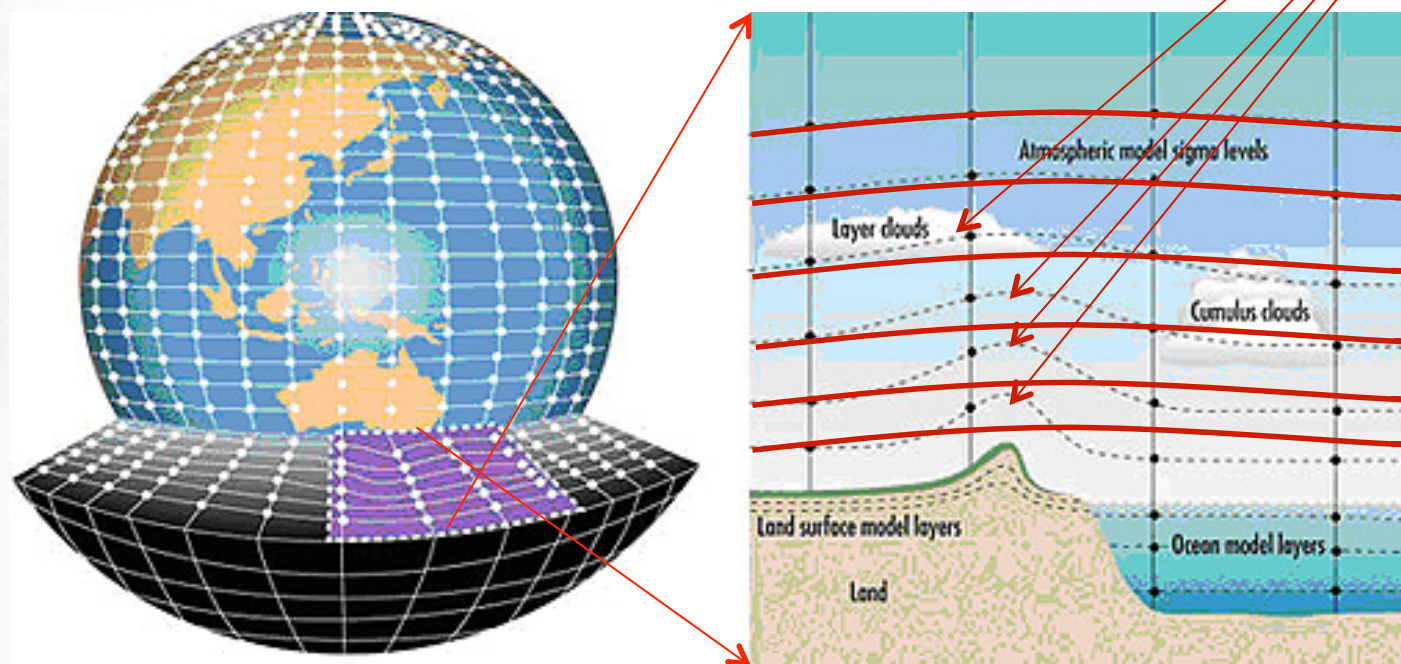
# Implementação da coordenada híbrida sigma-pressão [ efeito da topografia sobre a convecção]



**Restruturação das parametrizações física para utilizar a coordenada híbrida**

**Pode gerar falsa precipitação**

Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/AtmosphericModelSchematic.png>



Fonte: <http://www.dpi.nsw.gov.au/research/topics/climate-change/projects-modelling>



RECM

## Efeito da topografia e níveis sigma sobre a precipitação

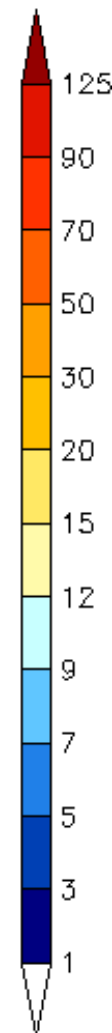
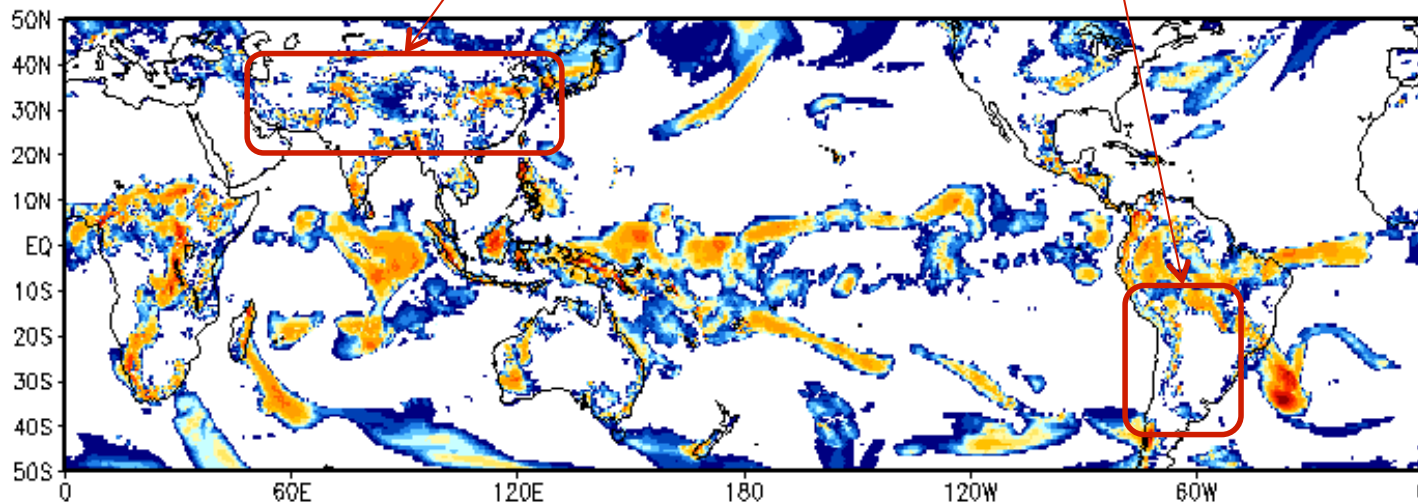
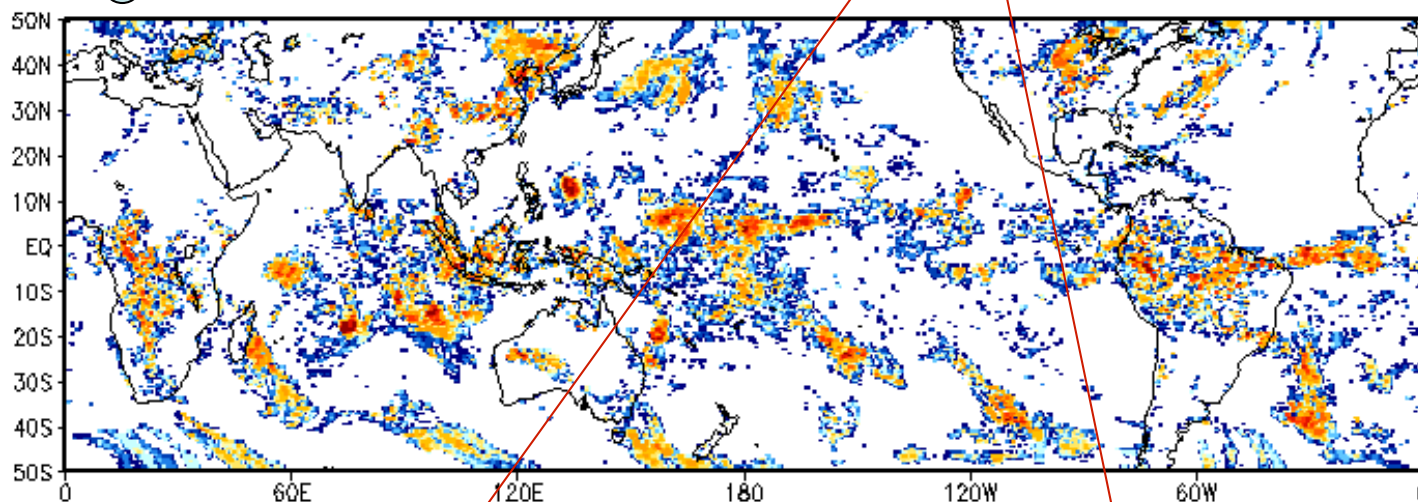
Condição Inicial 12z28mar2015 FCT=120h

Período acumulado 18z01apr2015–12z02apr2015

Cood. Híbrida  
Irã melhorar

TRMM3B42RT

AGCM20KM



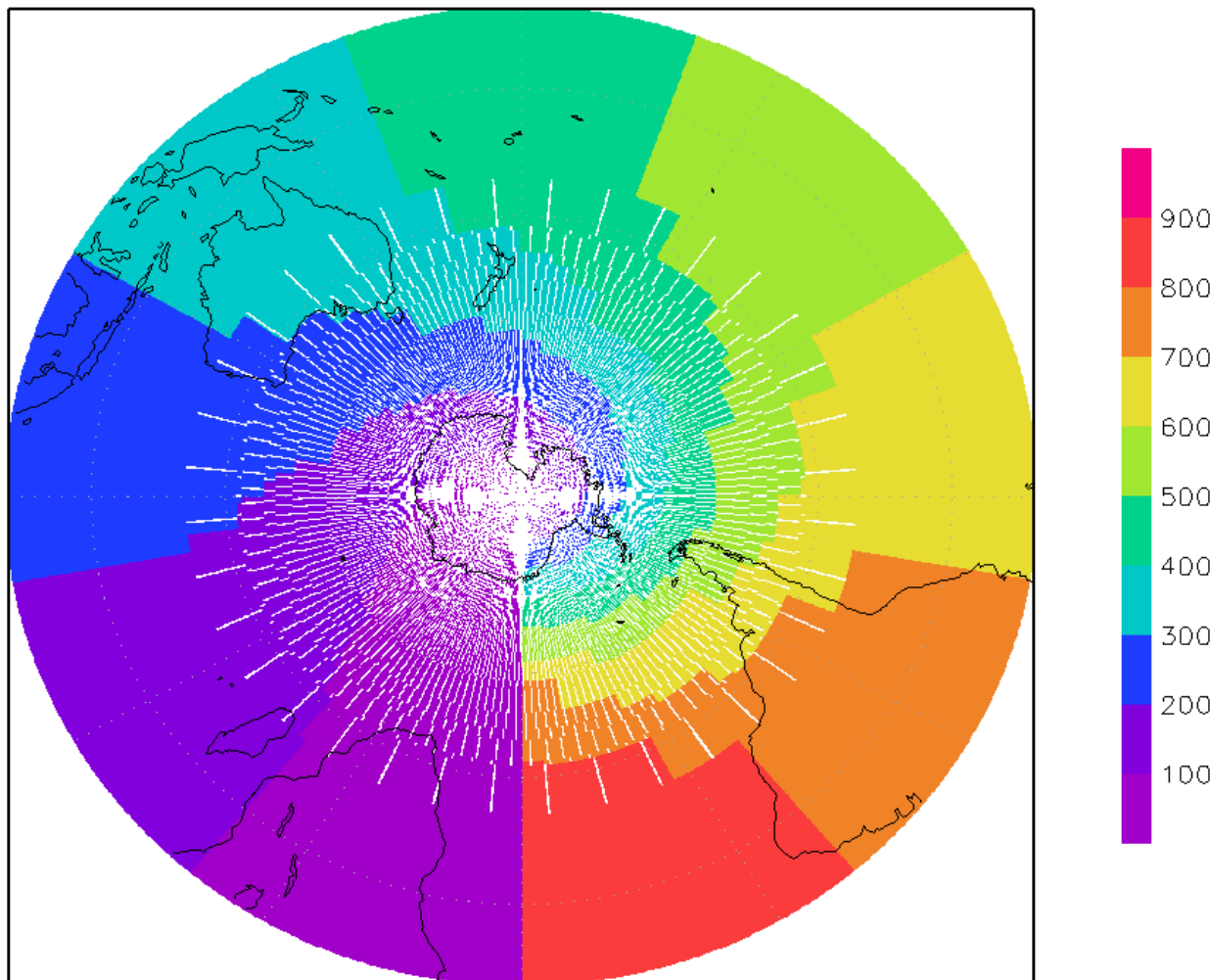


## Desafios: operacionalizar o modelo TQ1332L64(~10 km)

Opcções	Descrição (OPERACIONAL TQ299L64)	Descrição (EXPERIMENTAL TQ1332L64)
Dinâmica	Euleriana com grade Reduzida	Semi-Lagrangiano com grade Reduzida
Radiação de onda Curta	CLIRAD	RRTMG
Radiação de onda Longa	HASHVANADAN(1987)	RRTMG
Camada Limite	Hostlag e Boville modificado (MY) (1992)	PBL UMIDA
Esquema de Superfície	IBIS(1996)	IBIS(1996)
Convecção Profunda	GRELL(1993)	GRELL-NILO
Convecção Rasa	TIEDKE(1983)	TIEDKE(1983)
P. de Larga escala	Microfísica (Rasch and Kristjánsson (1998) )	Microfísica (Morrison )
Onda de Gravidade	ALPERT(1988)	ALPERT(1988)



**Problemas de Alocação de Memórias para  
a Configuração de grade reduzida na  
resolução TQ1332L64 (~10km) [**Alteração  
no Algoritmo**]**



**Figura 2 Distribuição dos pontos de malha em uma malha reduzida da resolução TQ0299L064.**

# Os números do supercomputador Cray-XE6

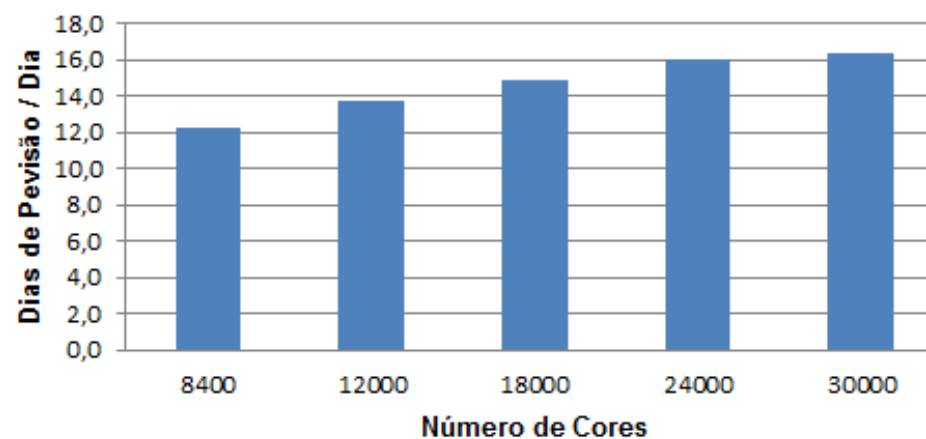
CPU's	1280 nós, cada nó com 2 Opteron 12 núcleos de 2,1GHz, cada nó com velocidade máxima de 201,6 GFlop/s, 32 GB de memória e rede SeaStar2, totalizando 30720 cores
Desempenho	Máximo: 258 TFlop/s Efetivo: 205 TFlop/s no Linpack
Disco primário	Sistema de arquivos com 866 TB líquidos, acessíveis à 320 Gbs
Armazenamento Secundário	3,84 Petabytes (PB) em discos SATA, biblioteca de fitas com 8.000 slots com 8.000 fitas LTO4, 6 PB de fitas
Processamento Auxiliar	20 nós, cada nó com 4 Opteron 4 core de 2,7 GHz, 128 GB de memória com desempenho SPECfp_rate_base2006 agregado de 3760
Acesso Interativo	13 nós, cada nó com 4 Opteron 4 core de 2,7 GHz, 128 GB de memória com desempenho SPECfp_rate_base2006 agregado de 2444
Espaço físico, energia e refrigeração	Ocupa 100 m <sup>2</sup> , requer 639 Kw de energia, refrigerado a ar com dissipação máxima de 550.000 Kcal/h, com portas contendo dissipadores refrigerados a água

Processos MPI	Threads OpenMP/MPI	Número de Nós	Número de Core	Período de Integração	Tempo de CPU
1400	6	350	8400	24 horas	1,962 horas
2000	6	500	12000	24 horas	1,745 horas
3000	6	750	18000	24 horas	1,613 horas
4000	6	1000	24000	24 horas	1,494 horas
5000	6	1250	30000	24 horas	1,468 horas

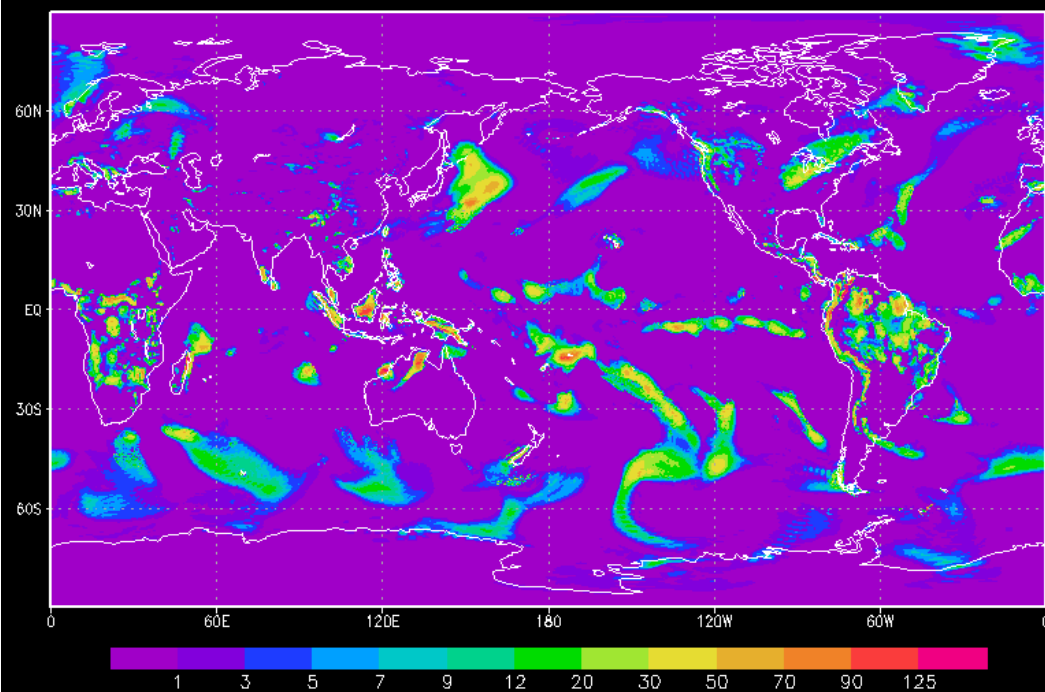


**BESM**  
Brazilian Earth System Model

### MCGA-CPTEC/INPE TQ1332L64 ~10km em Cray-XE6



**TQ1332L64(~10 km)**



GrADS: COLA/IGES

2015-03-23-21:38



Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



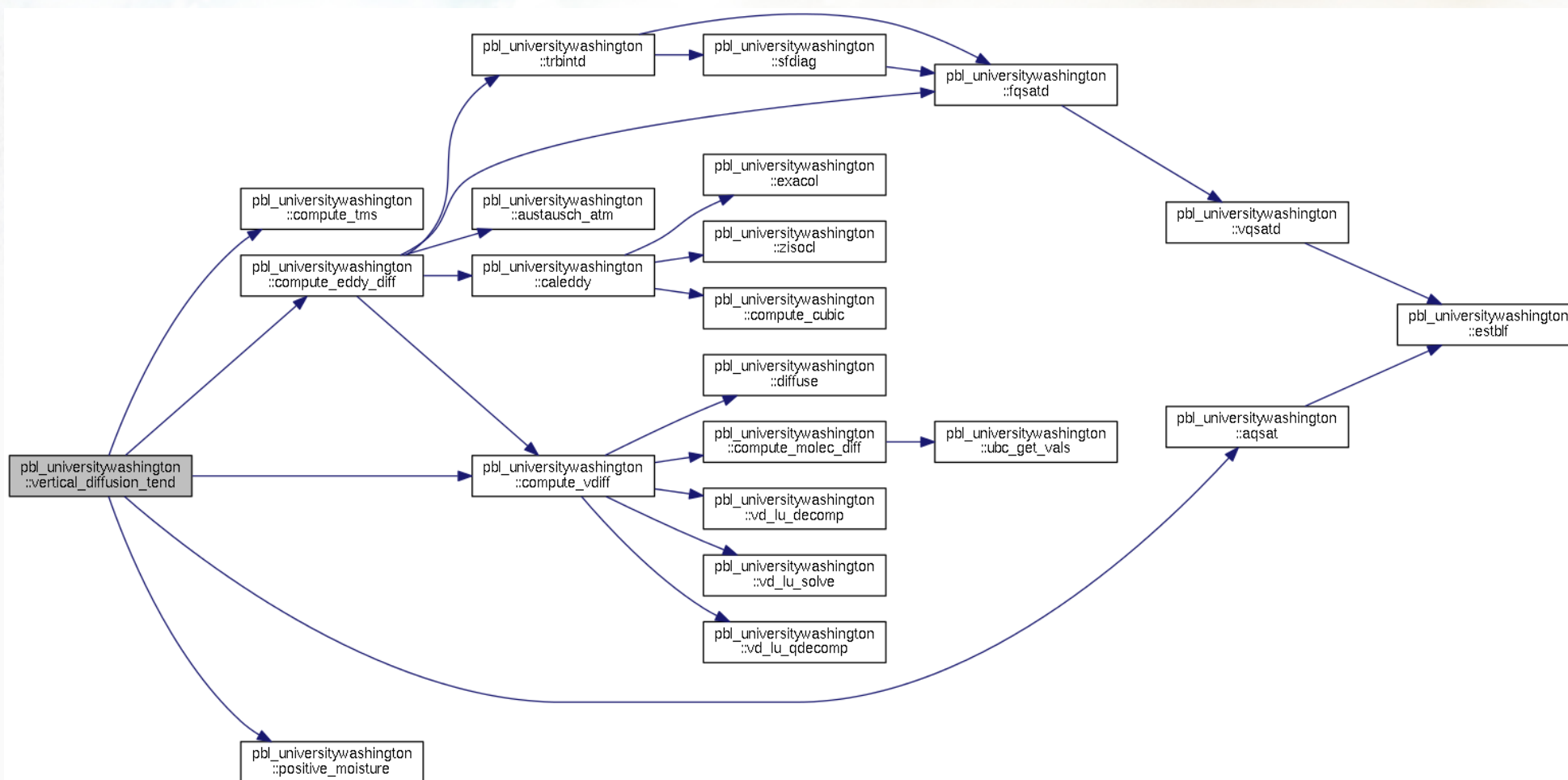




Table 1: Profile by Function Group and Function

Time%	Time	Imb. Time	Imb. Time%	Calls	Group Function PE=HIDE Thread=HIDE
100.0%	658.256547	--	--	7997569.5	Total
75.6%	497.506558	--	--	7532901.3	USER
19.4%	127.763015	4.385194	3.3%	1320.2	transform_spectofour_
19.2%	126.270011	83.010881	40.0%	661.0	modtimestep_timestep_
10.6%	69.748234	69.479808	50.3%	2856.6	rrtmg_sw_spcvmc_spcvmc_sw_
5.6%	36.960482	5.694902	13.5%	658.0	semilagrangian_semilagr_
3.1%	20.386691	4.093877	16.9%	658.0	communications_exchange_fields_
2.2%	14.293395	15.969601	53.2%	1320.0	transform_depositgrid_
1.6%	10.314310	6.480043	38.9%	17211.5	micro_morr_morr_two_moment_micro_
1.5%	9.607280	9.604971	50.4%	1320.0	transform_fourtospec_
1.0%	6.372858	6.488201	50.9%	519.2	rrtmg_sw_rad_rrtmg_sw_
0.7%	4.648023	3.265597	41.6%	2916.4	microphysics_runmicrophysics_
0.7%	4.411638	2.742619	38.7%	964.0	radsw_rad_rrtmg_sw_
0.7%	4.403092	0.139955	3.1%	38063.3	semilagrangian_interpcublin3d_
0.6%	4.034586	0.868501	17.9%	658.0	communications_exchange_winds_
0.6%	3.925277	0.078770	2.0%	1.0	cloudopticalproperty_ice_lookup_
0.5%	3.231306	0.278274	8.0%	1.0	exit
0.5%	2.967143	0.488630	14.3%	321.1	rrtmg_lw_rad_rrtmg_lw_
0.4%	2.535965	6.649031	73.0%	930629.2	micro_morr_rayleigh_soak_wetgraupel_
0.3%	2.009093	1.933843	49.5%	639869.1	rrtmg_sw_vrtqdr_vrtqdr_sw_
0.3%	1.735494	0.114465	6.2%	2910.7	physicsdriver_physics_
0.3%	1.729219	1.507652	47.0%	519.2	mcica_subcol_gen_sw_mcica_subcol_sw_
0.3%	1.709582	1.684517	50.0%	639869.1	rrtmg_sw_reftra_reftra_sw_
0.2%	1.565776	0.072518	4.5%	321.1	radlw_rad_rrtmg_lw_
0.2%	1.468049	0.469894	24.5%	1322.0	transform_withdrawgrid_
0.2%	1.206873	0.146309	10.9%	2916.4	convection_cumulus_driver_
0.2%	1.203978	1.128092	48.8%	519.2	mcica_subcol_gen_sw_generate_stochastic_clouds_sw

## Implementação da Parametrização da camada limite úmida da Universidade de Washington



## Melhorar a estrutura do modelo MCGA-CPTEC/INPE

```

Assimilation
├── GridDump.f90
├── SpecDump.f90
├── SpecDump.f90.in
├── Diagnostics
│   ├── Diagnostics.f90
│   ├── GridHistory.f90
│   └── mpif.h
├── Documentation
│   ├── HISTORICO
│   ├── README_DIAGNOSTIC.txt
│   └── README_INSTALL.txt
├── DummyMPI
│   ├── include
│   │   ├── mpi.h
│   │   ├── mpif.h
│   │   ├── mpp.h
│   │   └── wtime.h
│   ├── Makefile
│   ├── Makefile.common
│   ├── Makefile.cygwin_gnu -> ../makefiles/Makefile.cygwin_gnu
│   ├── Makefile.linux_gnu -> ../makefiles/Makefile.linux_gnu
│   ├── mpi_dummy.c
│   ├── mpi_dummys.c
│   ├── mpi_dummyf.f
│   ├── wtime.c
│   └── wtime.f
├── Dynamics
│   ├── GridDynamics.f90
│   ├── mpif.h
│   ├── Semilagrangian.f90
│   ├── SpecDynamics.f90
│   └── TimeStep.f90
├── Fields
│   ├── FieldsDynamics.f90
│   └── FieldsPhysics.f90
├── Initialization
│   ├── Init.f90
│   ├── mpif.h
│   ├── NonLinearNMI.f90
│   └── Options.f90
├── InputOutput
│   ├── InputOutput.f90
│   └── IOLowLevel.f90
├── Main
│   ├── Atmos_Model.f90
│   ├── Model.f90
│   └── mpif.h
└── Makefile

```

```

Makefile.common
Makefile.in
makefiles
├── CVS
│   ├── Entries
│   ├── Repository
│   └── Root
├── Makefile.cray_cray
├── Makefile.cray_cray32
├── Makefile.cray_craydbg
├── Makefile.cygwin_gnu
├── Makefile.cygwin_gnu_dbx
├── Makefile.gnu_cray
├── Makefile.gnu_cray_dbx
├── Makefile.gnu_cray2
├── Makefile.linux_gnu
├── Makefile.linux_intel
├── Makefile.linux_intel_dbx
├── Makefile.pgi_cray
├── Makefile.pgi_cray_craydbg
├── Makefile.sx6
├── Makefile.tupay
├── Makefile.una_gnu
└── Makefile.una_intel
mpif.h (6%)
Parallelism
├── Communications.f90
├── mpif.h
├── Parallelism.f90
└── Sizes.f90

```





# BESM

Brazilian Earth System Model

```
Physics
├── BoundaryLayer
│   ├── HostlagBoville
│   │   └── Pbl_HostlagBoville.f90
│   ├── MellorYamada0
│   │   └── Pbl_MellorYamada0.f90
│   ├── MellorYamada1
│   │   └── Pbl_MellorYamada1.f90
│   ├── PBL_Entrain.f90
│   └── PblDriver.f90
├── Convection
│   ├── CloudFraction
│   │   └── UKMET
│   ├── Convection.f90
│   ├── DeepConvection
│   │   └── DeepConvection.f90
│   ├── Grell
│   │   ├── Cu_Grellens.f90
│   │   └── Cu_Grellens_CPTEC.f90
│   ├── GrellEns
│   │   └── Cu_Grellens.f90
│   ├── GrellEns_New
│   │   ├── Cu_Grellens.f90
│   │   ├── Cu_Grellens.f90-NEW-CLOSURES-17-18-19-20_JULY27-2013
│   │   └── Cu_Grellens.f90-NEW-CLOSURES-17-18-19-20_JULY27-2013_PK
│   ├── GrellEns_OLD
│   │   └── Cu_Grellens.f90
│   ├── GrellEnsCPTEC
│   │   └── Cu_Grellens_CPTEC.f90
│   ├── Kuo
│   │   └── Cu_Kuo1c1.f90
│   ├── Ras
│   │   └── Cu_RAS.f90
│   ├── Zhang
│   │   └── Cu_ZhangMcFarlane.f90
│   └── LrgSc1
│       └── Prec_LrgSc1.f90
```

```
MicroPhysics
├── Ferrier
│   ├── Micro_Ferrier.f90
│   └── Micro_Ferrier.f90_ok
├── Hack
│   └── Micro_Hack.f90
├── HWRF
│   ├── ETAMPNEW_DATA
│   └── Micro_HWRF.f90
├── LrgSc1
│   └── Micro_LrgSc1.f90
├── MicroPhysics.f90
├── MORRISON
│   └── Micro_MORR.f90
├── MORRISON_AERO
│   ├── Micro_HugMorr.f90
│   ├── Micro_HugMorr.f90_orig
│   ├── Micro_HugMorr.f90~
│   ├── Micro_MORR.f90
│   ├── micro_morr.mod
│   └── Micro_MORR.o
├── UKME
│   ├── Micro_UKME.f90
│   ├── micro_ukme.mod
│   └── Micro_UKME.x
├── StratCloudFraction.f90
└── ShallowConvection
    ├── JHack
    │   └── Shall_JHack.f90
    ├── ShallowConvection.f90
    ├── Souza
    │   └── Shall_Souza.f90
    ├── Tied
    │   └── Shall_Tied.f90
    ├── UWShCu
    │   └── Shall_UWShCu.f90
```



# BESM

## Brazilian Earth System Model

### GravityWaveDrag

- Alpert
  - GwddSchemeAlpert.f90
- CAM
  - GwddSchemeCAM.f90
- ECMWF
  - Gwdd\_ECMWF.f90
- GwddDriver.f90
- UKMET
  - GwddSchemeCPTEC.f90

### Radiation

- Clirad
  - cah.data90
  - coa.data90
  - mcai.data90
  - Rad\_Clirad.f90
- CloudOpticalProperty.f90
- CloudOpticalProperty.f90~
- COLA
  - Rad\_COLA.f90
- RadiationDriver.f90
- UKMET
  - Rad\_UKMO.f90
  - sp\_lw\_hadgem1\_3
  - sp\_sw\_hadgem1\_3r

### Surface

- Land
  - IBIS2.6
    - Sfc\_Ibis\_BioGeoChemistry.f90
    - Sfc\_Ibis\_BioGeoPhysics.f90
    - Sfc\_Ibis\_Fields.f90
    - Sfc\_Ibis\_Interface.f90
  - SiB2.5
    - Sfc\_SiB2.f90
  - SSiB
    - Sfc\_SSiB.f90

### SeaIce

- SeaFlux\_COLA
  - Sfc\_SeaFlux\_COLA\_Model.f90
  - Sfc\_SeaFlux\_COLA\_Model.f90~
- SeaFlux\_UKME
  - Sfc\_SeaFlux\_UKME\_Model.f90
- SeaFlux\_WGFS
  - Sfc\_SeaFlux\_WGFS\_Model.f90
- SeaIceFlux\_WRF
  - Sfc\_SeaIceFlux\_WRF\_Model.f90
- Sfc\_SeaFlux\_Interface.f90
- SLAB
  - SlabOceanModel.f90

```
scripts
├── MODELIN
├── run%
├── run_multi_SX6
├── run_multi_TX7
├── run_multi_UNA
├── runModel
├── runModel.SX6
├── runModel.XT6
├── Transform
├──   ├── mpif.h
├──   └── Transform.f90
├── tree_dir
├── Utils
├──   ├── Constants.f90
├──   ├── Constants.f90.in
├──   ├── mpif.h
├──   ├── PhysicalFunctions.f90
├──   ├── Utils.f90
├──   └── Watches.f90
```



**BESM**  
Brazilian Earth System Model

- **Reestruturar o código do MCGA**
- **Otimizar alguns módulos da física para melhorar o desempenho do modelo**
- **Melhorar a Documentação do MCGA-CPTEC/INPE**
- **Adotar uma padronização de codificação e documentação do código**



Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação

