



Ministério da Ciência e Tecnologia



**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**  
**Centro de Ciência do Sistema Terrestre - CCST**

# Interação Biosfera-Atmosfera Modelos de Superfície Vegetação

Gilvan Sampaio  
([gilvan.sampaio@cptec.inpe.br](mailto:gilvan.sampaio@cptec.inpe.br))

**Entrenamiento en Modelado Numérico de Escenarios de Cambio Climático**  
Cachoeira Paulista-SP / 02 de setembro de 2009

# Biosphere-Atmosphere Interactions Group

## Head:

Dr. Carlos Nobre – Coordinator

## Researchers and Students:

Dr. Celso von Randow – Vegetation dynamics

Dr. Claudia Bioan – Fire modeling

Dr. Gilvan Sampaio – Deforestation and climate; vegetation dynamics

Dr. Guillermo Obregon – Precipitation mechanisms in the Amazon

Dr. Jorge Bustamante – Ecology; land use cover change

Dr. Luis Salazar – Vegetation dynamics

Dr. Manoel Cardoso – Fire modeling

Dr. Mariane Coutinho – Climate modeling

Msc. Marcos Sanches – Climate modeling; optimization; implementation

Bsc. Carlos Guimarães – System analyst

Msc. Giovanni Dolif – PhD Student

Msc. Marina H. Magalhães – PhD Student

Msc. Rogério Carneiro – PhD Student

## Fellow Researchers:

Dr. Marcos Oyama – IAE/CTA

Dr. Marcos Heil Costa – Federal University of Viçosa

# Biosphere-Atmosphere Interactions Group

## Main Research Areas

- Deforestation and regional climate change in Amazonia
- Deforestation in Amazonia and Cerrado and global climate change
- Precipitation Mechanisms in the Amazon
- Biome-Climate interactions in Tropical South America
- Multiple biome-climate stable equilibria
- Impacts of global warming on biome redistribution in South America.
- Vegetation dynamics
- Fire modeling
- Terrestrial carbon cycle
- Other terrestrial biogeochemical cycles (N, etc.)



# Models:

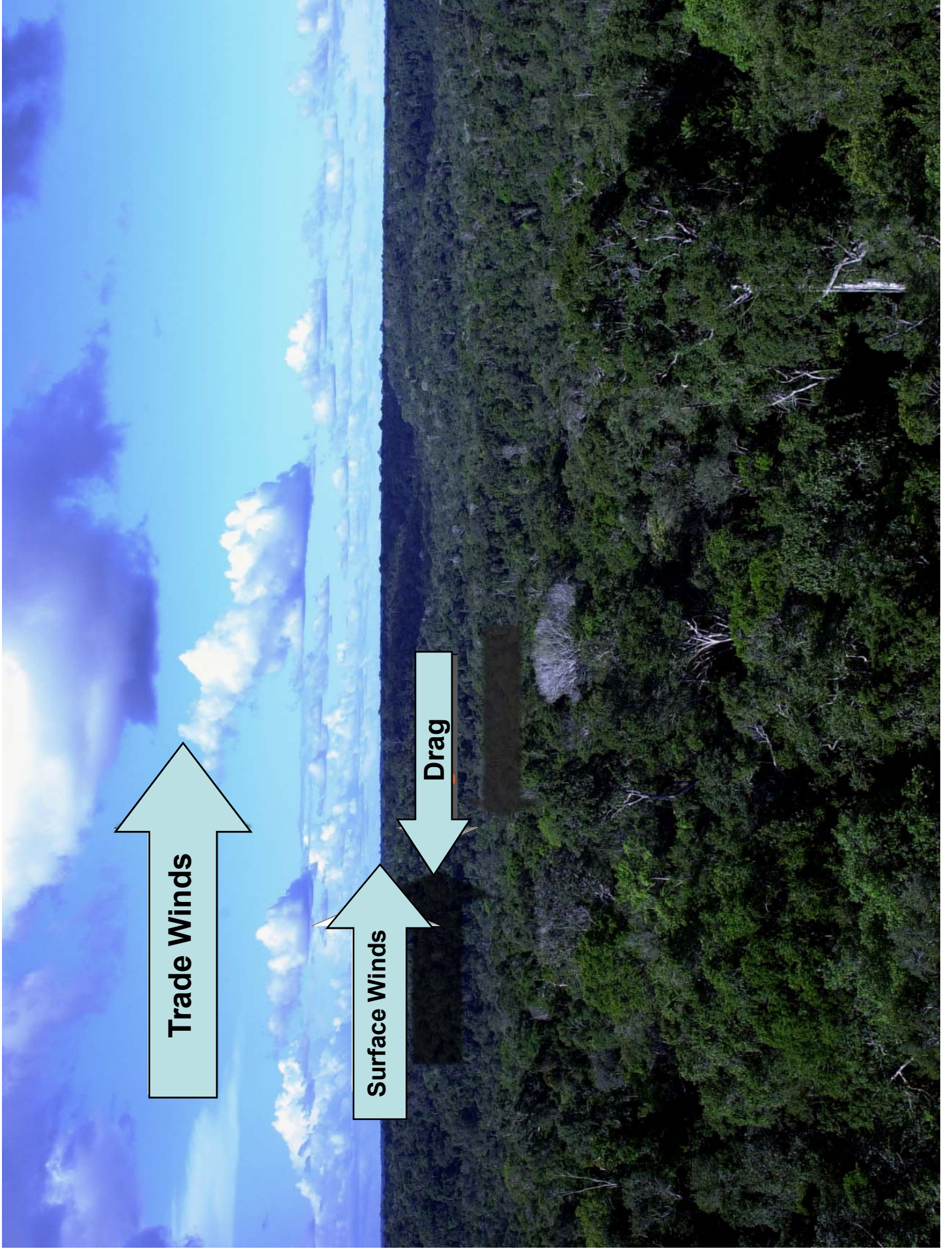
- 1) CPTEC AGCM – SSIB, IBIS
- 2) CPTEC Potential Vegetation Model (PVM)
- 3) CPTEC Potential Vegetation Model with Carbon Cycle (PVM2)
- 4) CPTEC Regional Potential Vegetation Model with Carbon Cycle (PVM2 Reg.)
- 5) CPTEC Eta – SSIB, NOAA
- 6) NCAR CCM3 – IBIS
- 7) NCAR CCSM – IBIS
- 8) Integrated Biosphere Simulator (IBIS)
- 9) LPJ (Lund-Potsdam-Jena) – Dynamic Global Vegetation Model

## **Vegetation – Atmosphere Interactions at the Surface:**

- **SW Radiation fluxes (albedo)**
- **Momentum fluxes (roughness)**
- **Sensible and latent fluxes (partition of energy)**





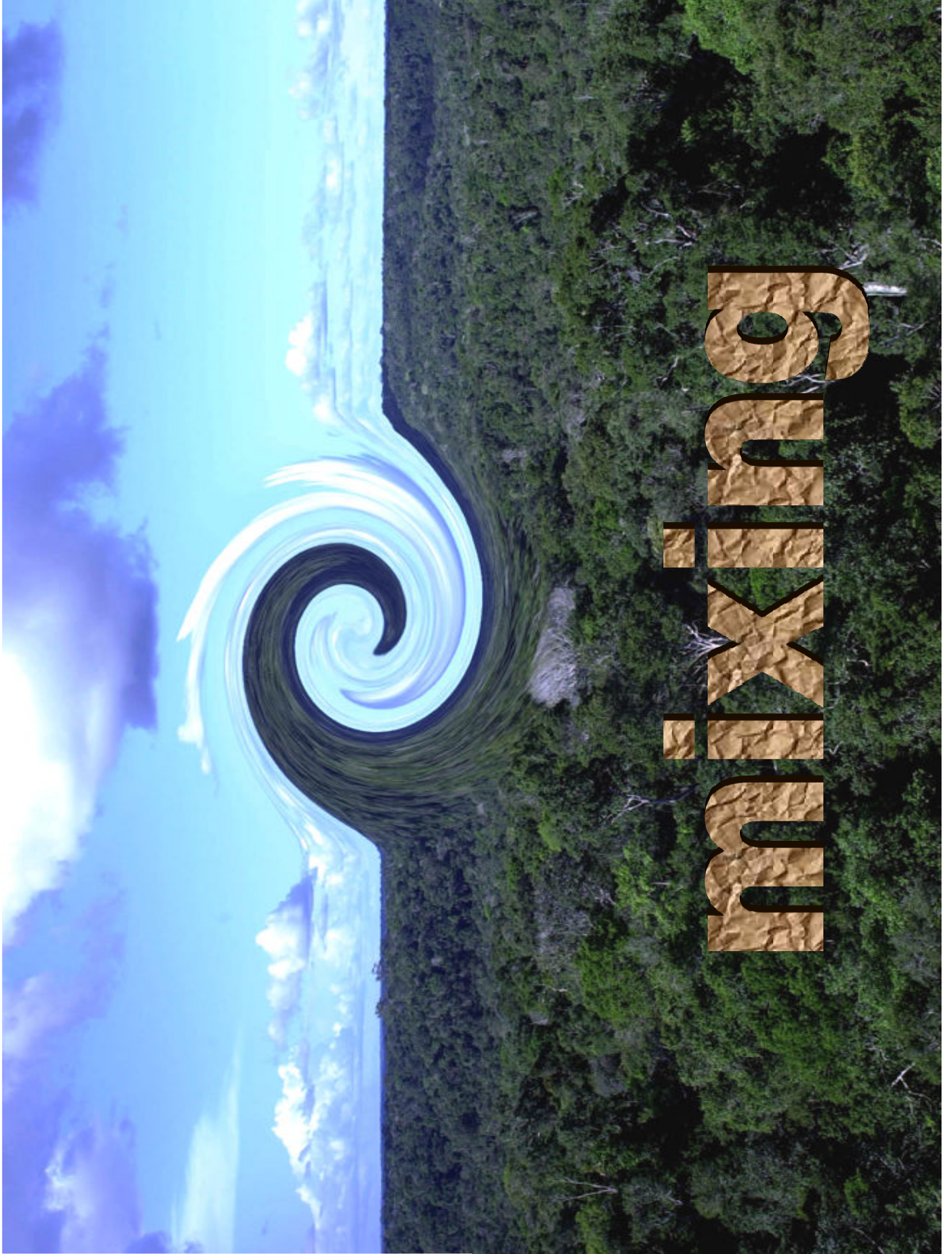


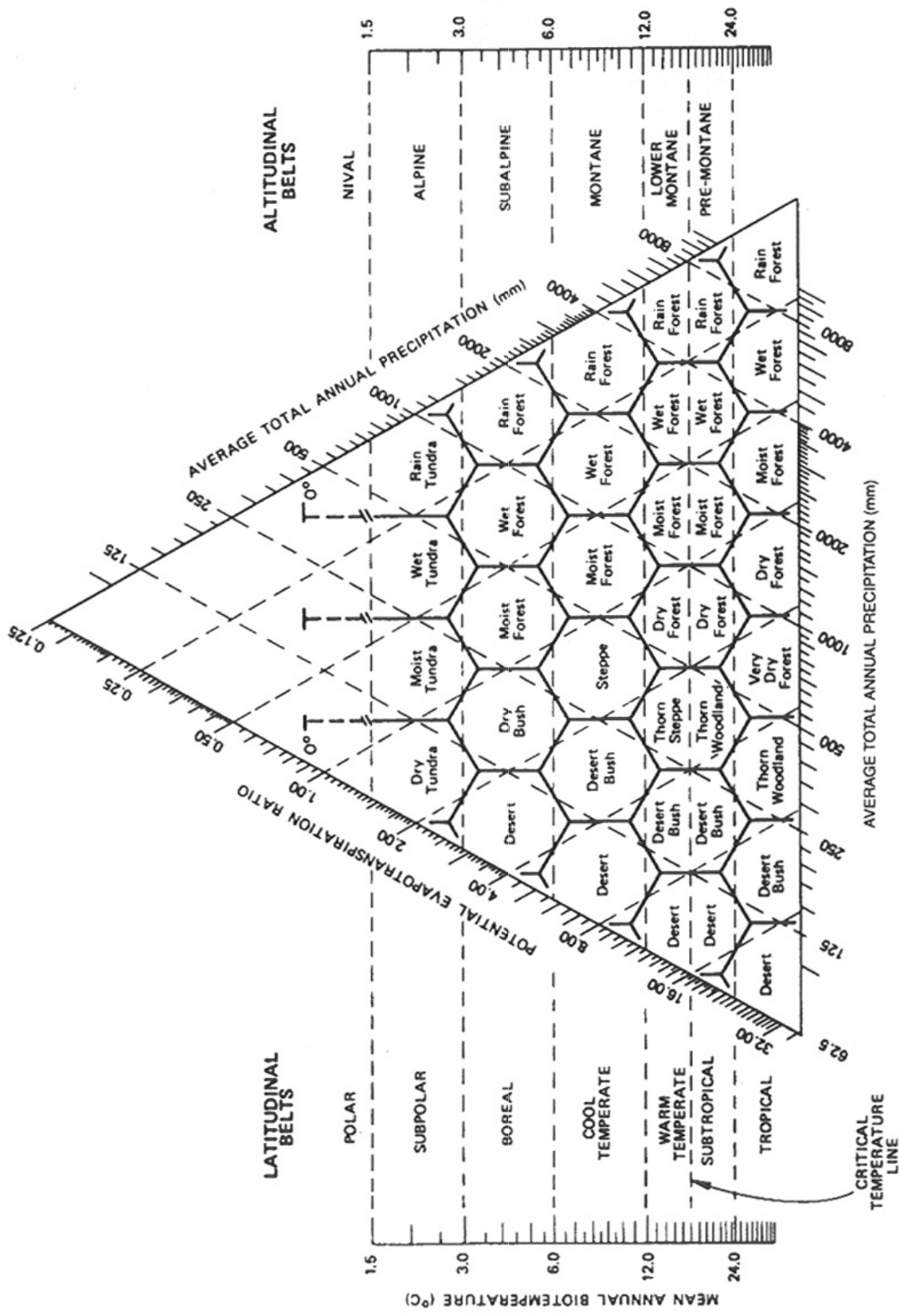
**Trade Winds**

**Surface Winds**

**Drag**







The Holdridge Life-Zone Classification System (Holdridge, 1947; 1967)



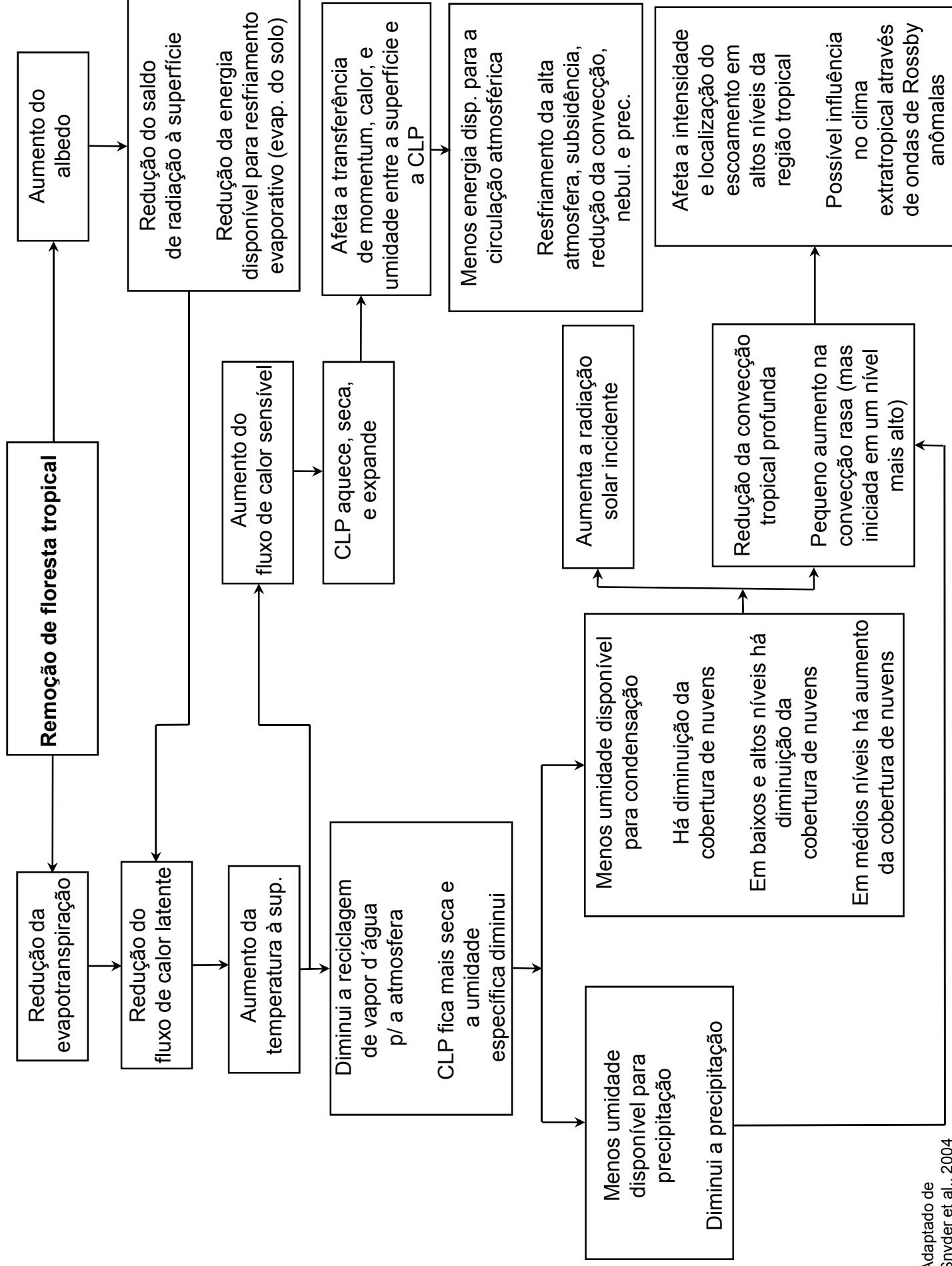
# Interações Floresta-Clima

**Clima** ↔ **Vegetação**

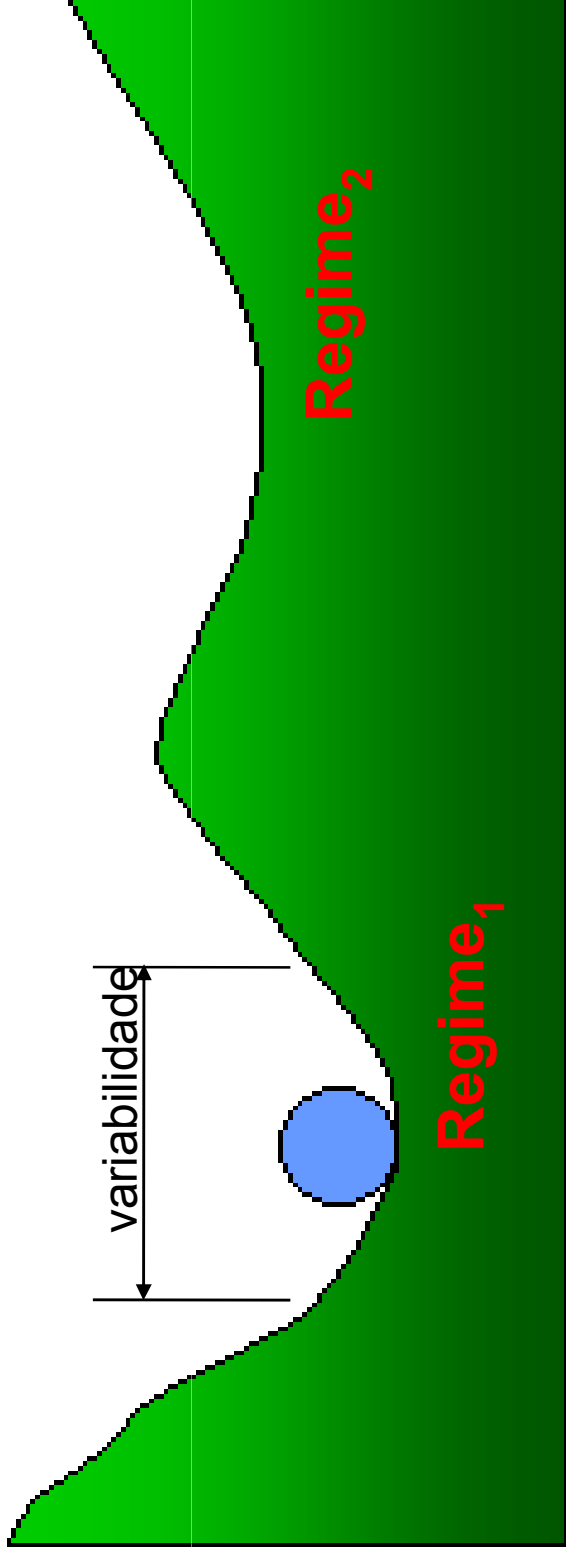


Can tropical deforestation affect the regional climate? And at what spatial scales?



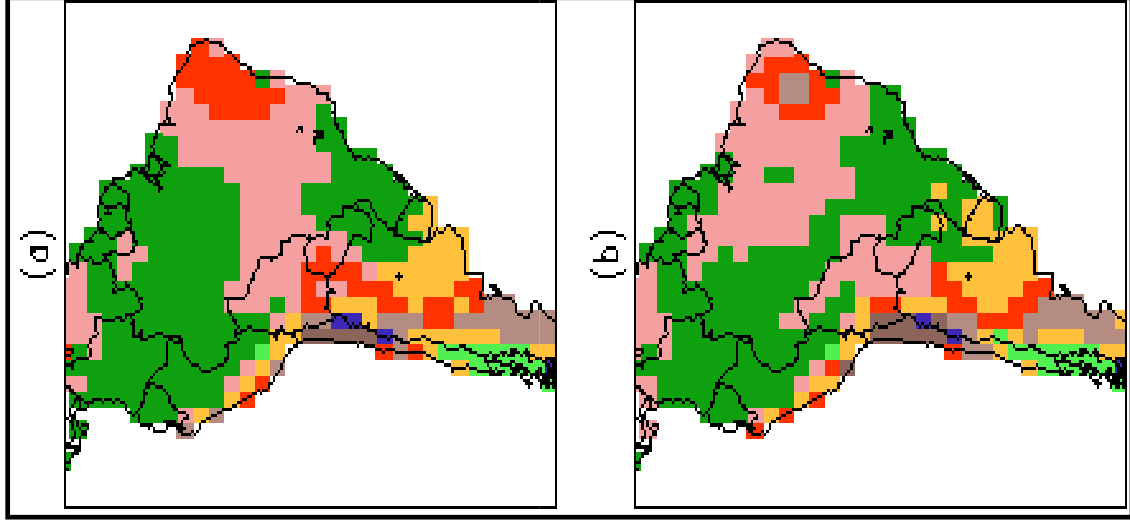


# Biome-Climate Equilibrium



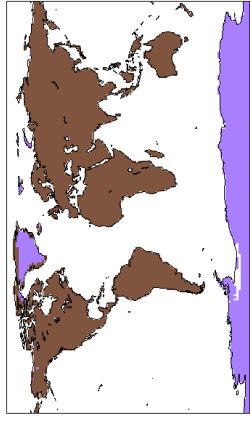
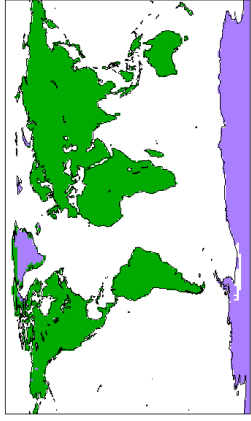


# Two Biome-Climate Equilibrium States found for South America!



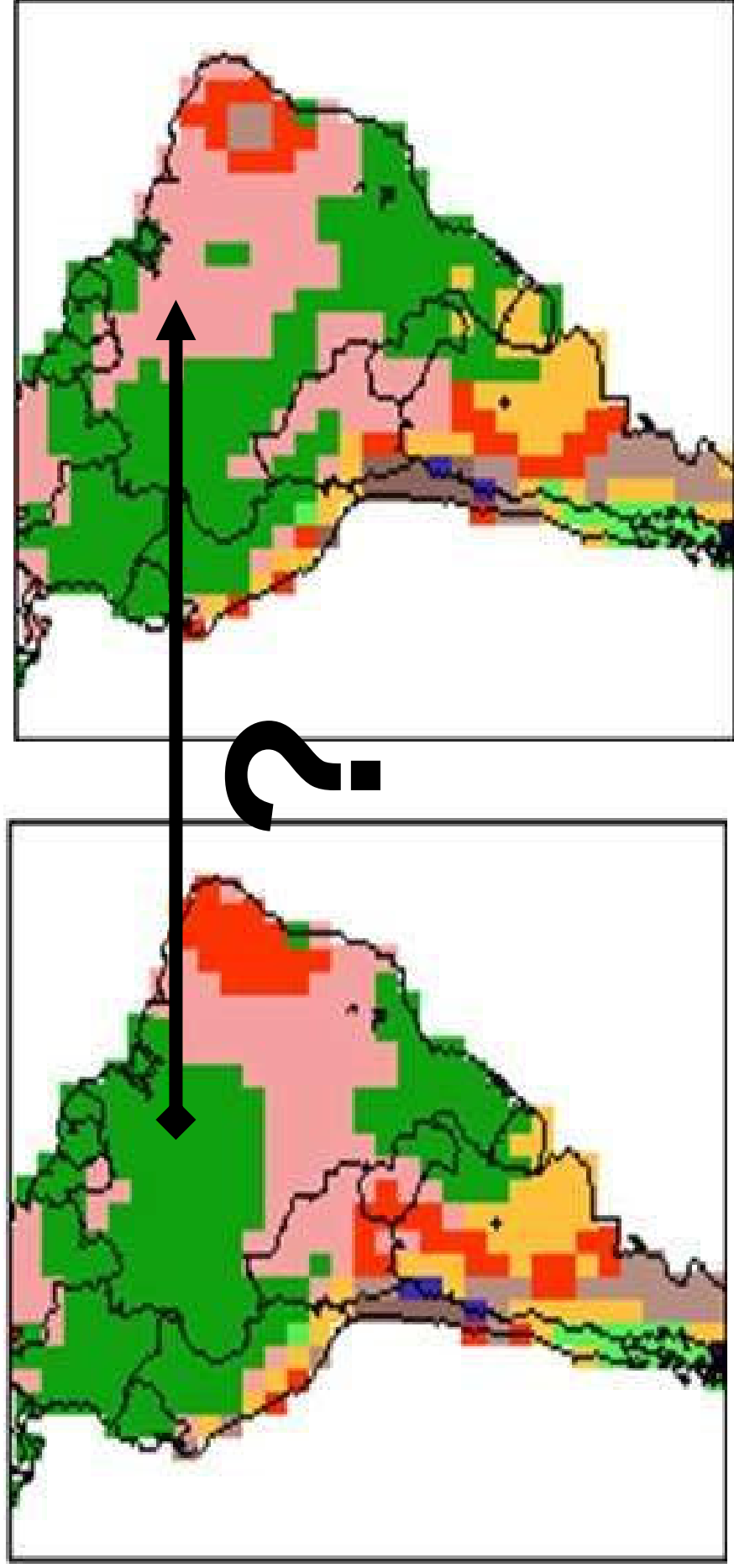
(a) First State - Biome-climate equilibrium starting from forest land cover as initial condition for the Dynamic Vegetation Model. These results are similar to current natural vegetation.

(b) Second State - Biome-climate equilibrium starting from desert land cover as Initial Condition for the Dynamic Vegetation Model



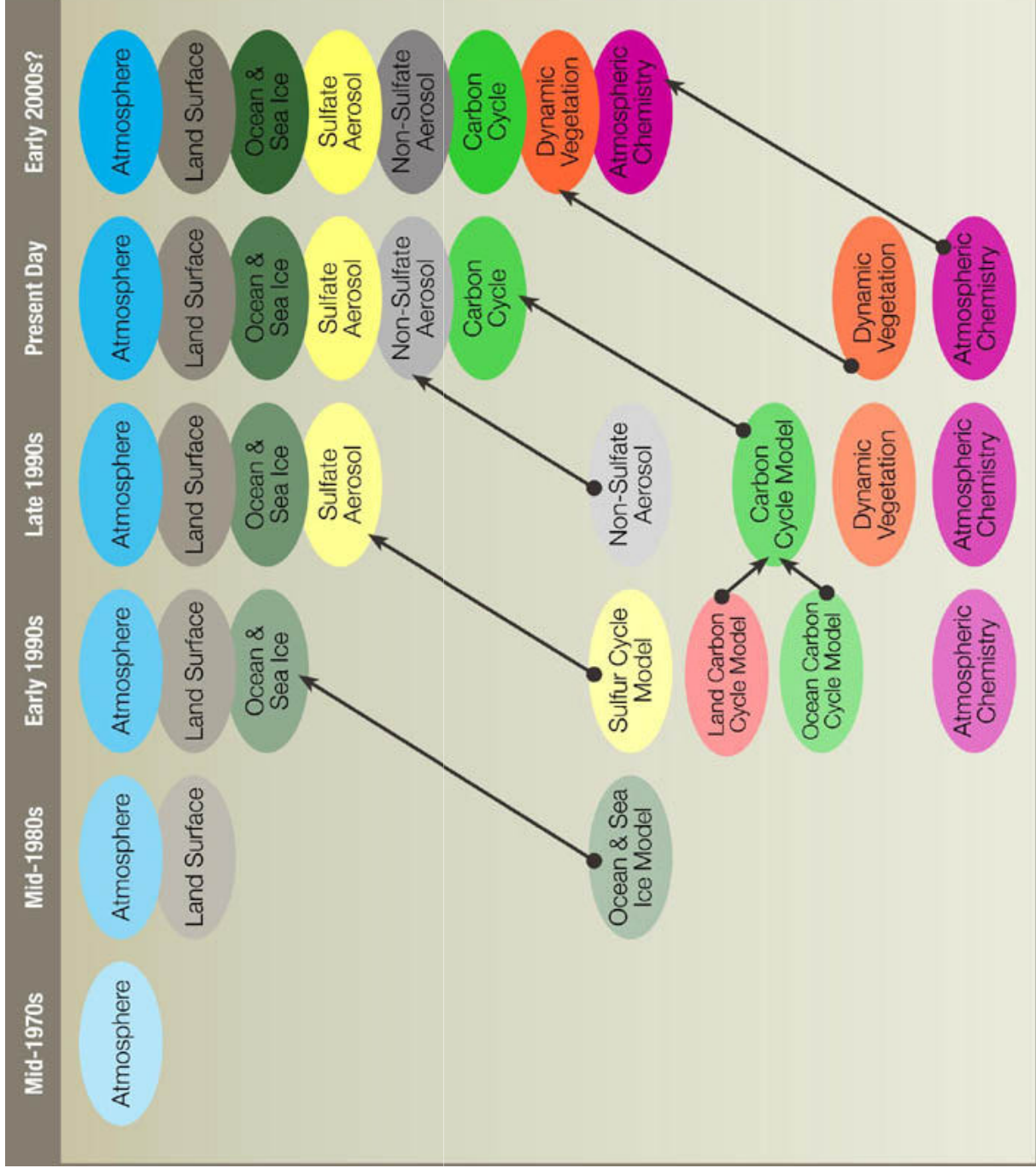
b) 'Savannization' of Amazonia and 'desertification' in NE Brazil

Question: What are the conditions for deforestation to induce an 'abrupt' transition to the second biome-climate stable equilibrium?

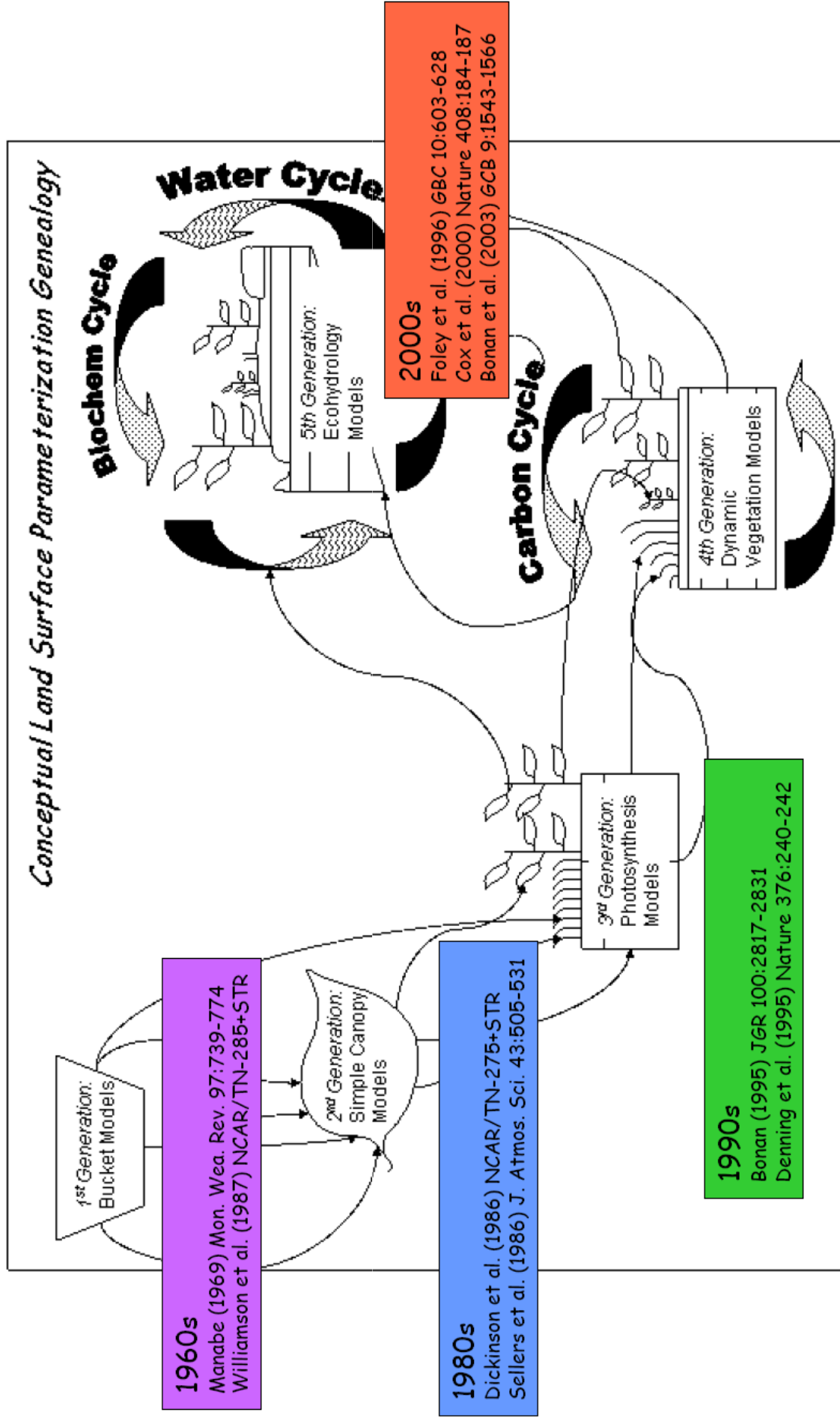




# Evolução de Modelos do Sistema Climático



# Genealogia de Parametrizações de Processos Superficiais em Modelos Climáticos



# *Tendências em modelagem de processos superficiais*

- Modelos de 5ª geração tendem a integrar todos os processos superficiais relevantes para o sistema climático
  - Troca de massa, energia e momentum
  - Fotossíntese e processos ecofisiológicos
  - Dinâmica de vegetação
  - Ciclo do carbono terrestre
  - Outros ciclos biogeoquímicos terrestres (N, etc.)
  - Uso do solo por agricultura
  - Áreas urbanas
  - Emissões de gases-traço, VOCs, poeira e aerossóis
  - Geleiras continentais
  - Hidrologia superficial e subterrânea
  - Etc.

# *Tendências em modelagem de processos superficiais*

- Dados de campo
  - Fluxnet
  - Outros dados normalmente têm tido uso limitado
    - NPP, biomassa, e outras medições ecológicas
    - Vazão de rios
    - Medições de emissões



# *Tendências em modelagem de processos superficiais*

- Dados de sensoriamento remoto
  - Modelos de 2<sup>a</sup> & 3<sup>a</sup> gerações usavam AVHRR
  - Modelos de 4<sup>a</sup> geração usam MODIS/CERES
  - Modelos de 5<sup>a</sup> geração podem usar novos sensores
    - GOSAT (2009): Fluxo de CO<sub>2</sub>
    - DESDynI (2010-2012): Biomassa
    - SWOT (2013-2015): Área inundada, vazão

# SSiB Model

Simplified Simple  
Biosphere Model  
(SSiB) – Xue et al,  
1991

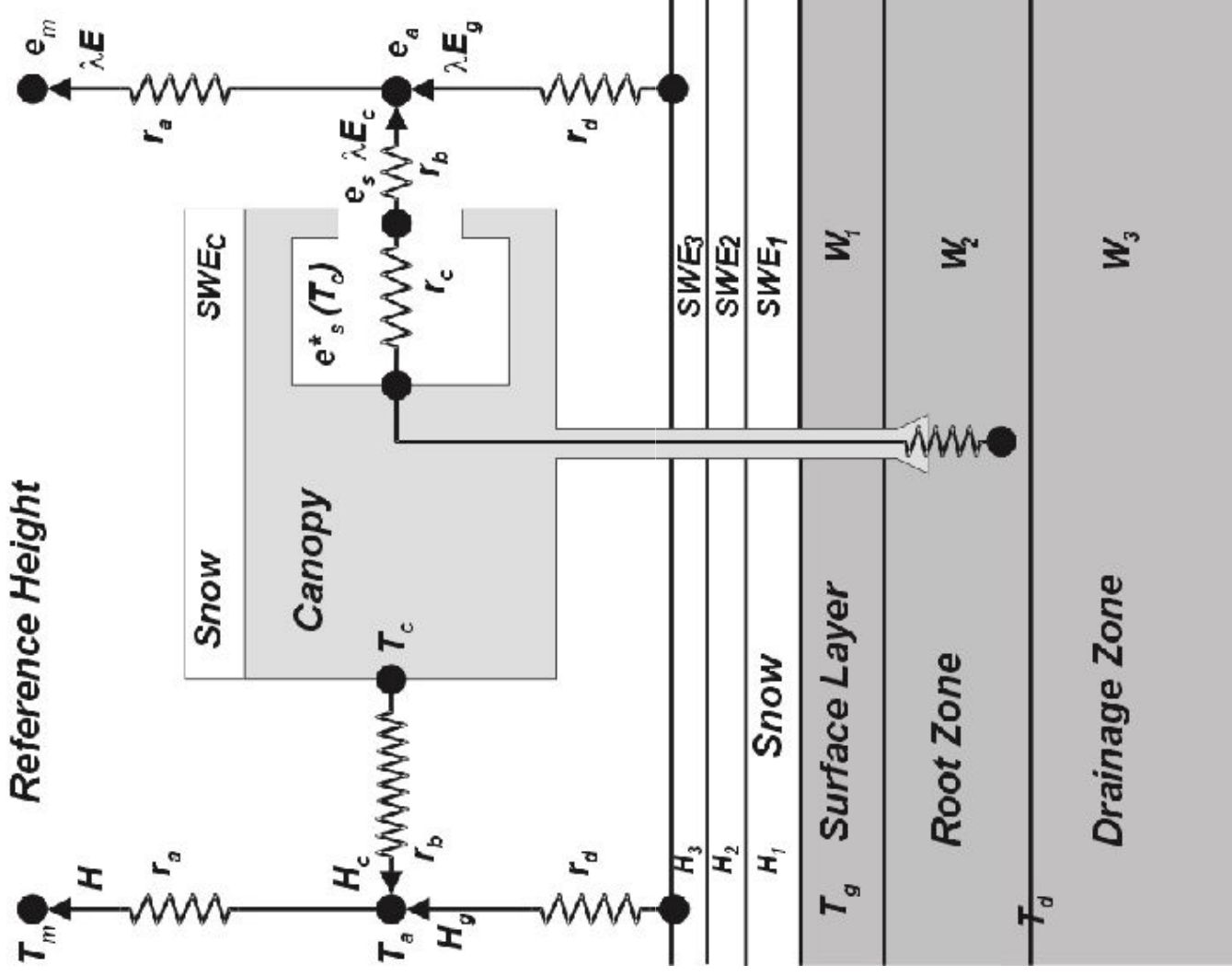
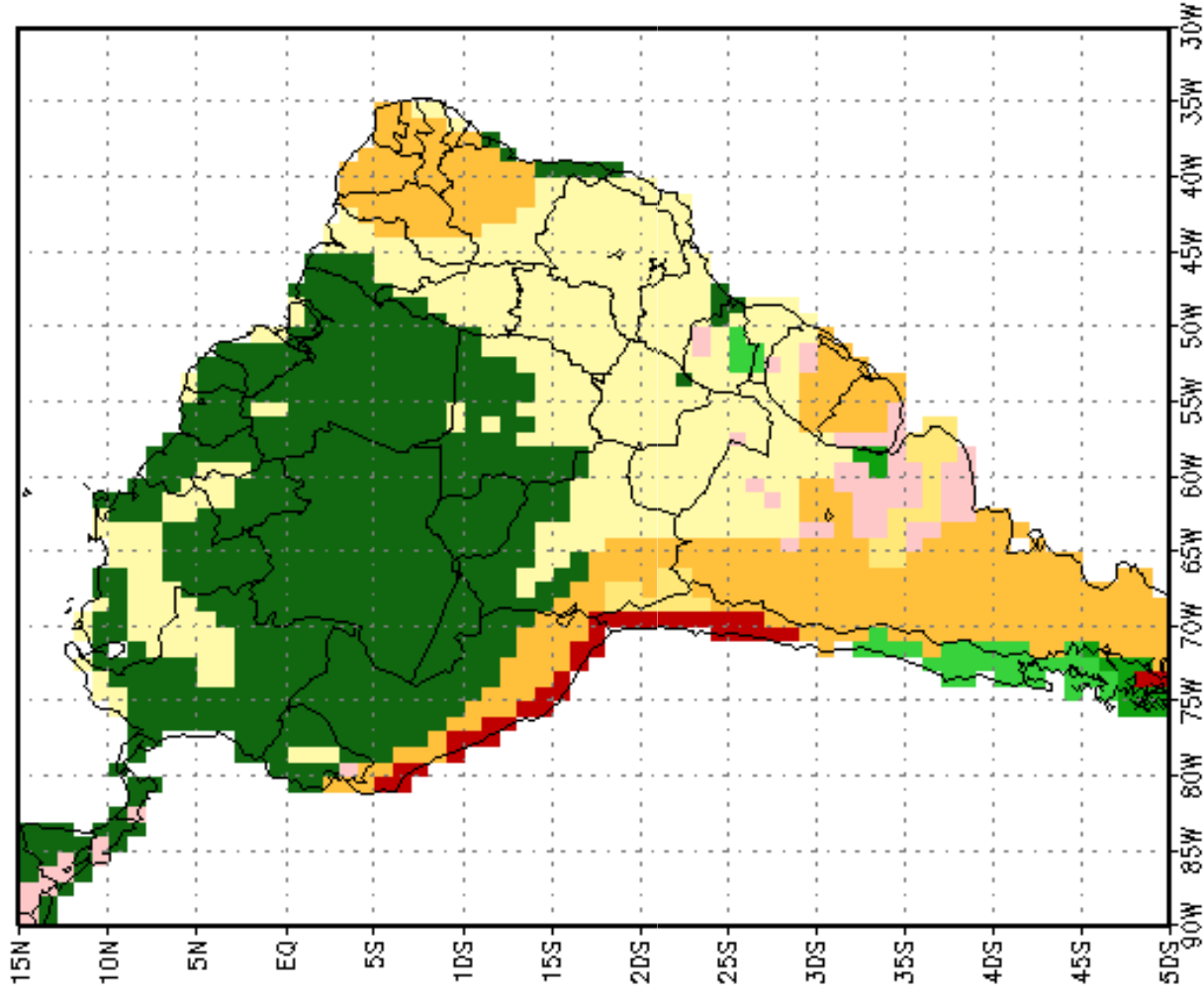


Fig. 1

## Classificação de biomas de Dorman e Sellers (1989)

<b>Bioma</b>	<b>Características</b>	<b>Nome usado por Oyama (2002) adotado neste trabalho</b>
1	Árvores perenifólias com folhas largas	Floresta tropical
2	Árvores caducifólias com folhas largas	Floresta temperada
3	Árvores com folhas aciculadas e arvores 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





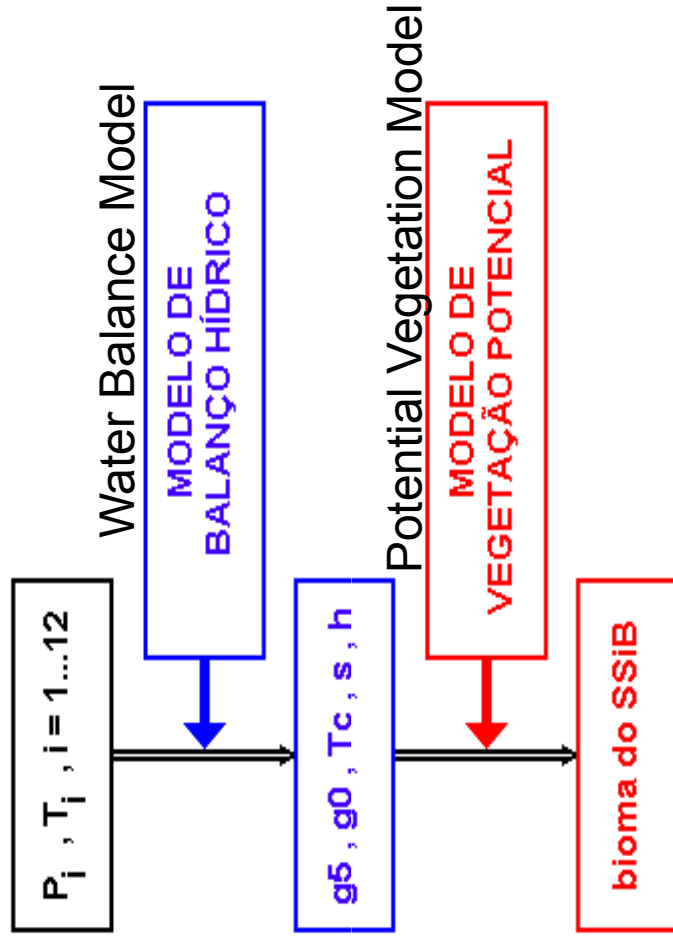
# **CPTEC Potential Vegetation Model – CPTEC-PVM**

**Oyama and Nobre (2003, 2004)**

- The Potential Vegetation Model (PVM) uses 5 climate parameters to represent the (SiB) biome classification.
- CPTEC-PVM is able to represent quite well the world's biome distribution.
- A dynamical vegetation model was constructed by coupling CPTEC-PVM to the CPTEC Atmospheric GCM (CPTEC-DVM).

# Five climate parameters drive the potential vegetation model

Monthly values of precipitation and temperature



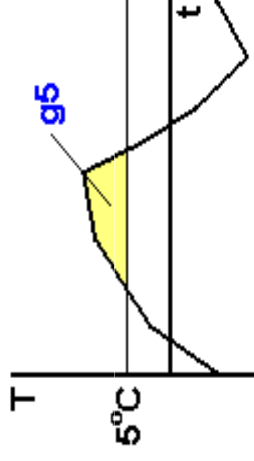
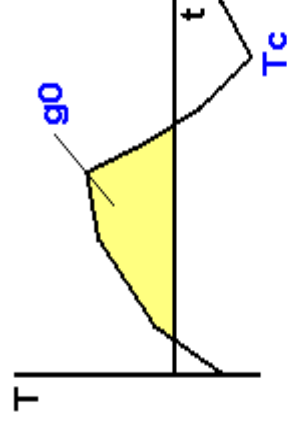
$g_0$  = degree-days above 0°C

$g_5$  = degree-days above 5°C

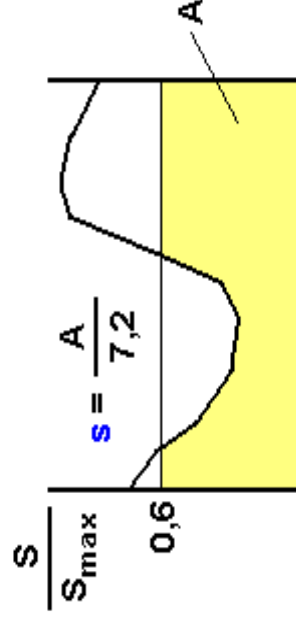
$T_c$  = mean temperature of the coldest month

$h$  = aridity index

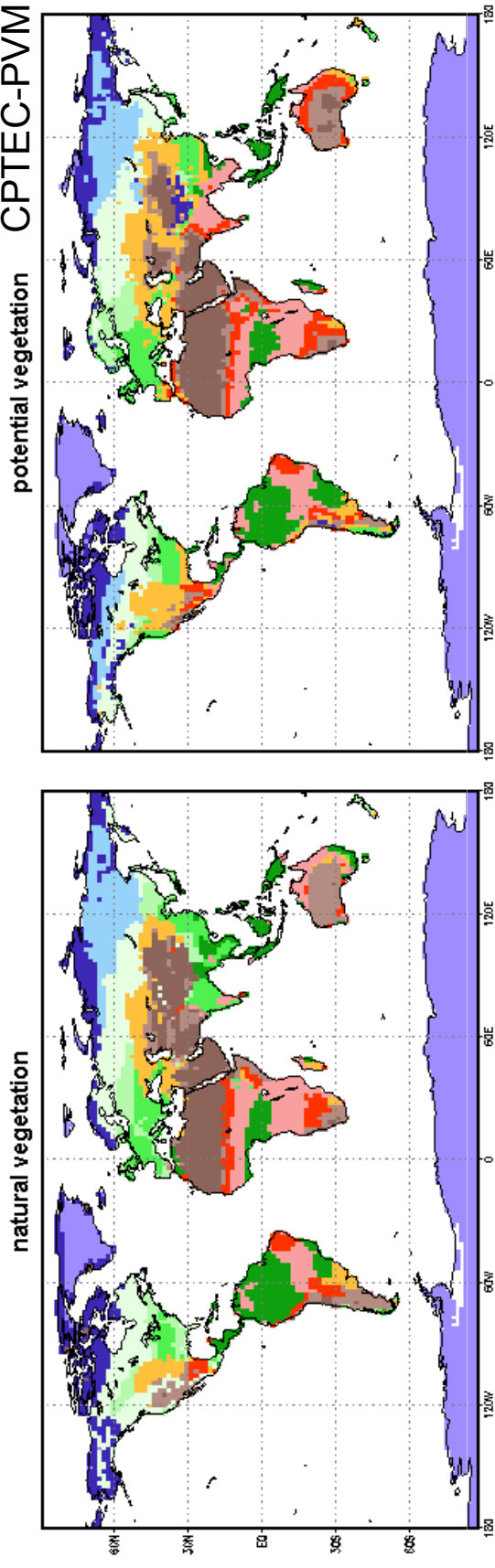
$s$  = seasonality index



$$h = \frac{ET}{ET_{\max}}$$



# Comparação Visual do CPTec-PVM versus Mapa de Biomas Naturais



## Classificação de biomas do SSIB

- |   |   |   |    |    |    |
|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4  | 5  | 6  |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 13 |
- 1 Broadleaf-evergreen trees (tropical forest)
  - 2 Broadleaf-deciduous trees (temperate forest)
  - 3 Broadleaf and needleleaf trees (mixed forest)
  - 4 Needleleaf-evergreen trees (boreal forest)
  - 5 Needleleaf-deciduous trees (larch)
  - 6 Broadleaf trees with groundcover (savanna)
  - 7 Groundcover only (grasslands)
  - 8 Broadleaf shrubs with perennial groundcover (caatinga)
  - 9 Broadleaf shrubs with bare soil (semi-desert)
  - 10 Dwarf trees and shrubs with groundcover (tundra)
  - 11 Bare soil (desert)
  - 13 Perpetual ice

**Concordância de 62% (resolução ~2 x 2 graus)**

Analisando-se para cada bioma, o desempenho foi muito bom para floresta tropical e desertos, bom para floresta de coníferas, de lariços, savanas, semi-desertos e tundra, regular para floresta temperada, campos extratropicais e caatinga e ruim para floresta mista.

# CPTEC-PVM was coupled to the CPTEC AGCM

Vegetation =  $f_1$  (climate variables)  
=  $f_1$  ( $g_0, g_5, T_c, h, s$ )

$g_0$  = degree-days above 0 C

$g_5$  = degree-days above 5 C

$T_c$  = mean temperature of the coldest month

$h$  = aridity index

$s$  = seasonality index

$f_1$  is a highly nonlinear function



**COUPLING**

**Atmospheric  
Model  
CPTEC AGCM**

Climate =  $f_2$  (vegetation)

=  $f_2$  (AGCM coupled to vegetated land surface scheme)

$f_2$  is also a nonlinear function

**Vegetation Model  
CPTEC PVM**



Introduzindo um sub-modelo de carbono no  
Potential Vegetation Model para estudos com  
concentrações variáveis de CO<sub>2</sub> (paleoclima e  
climas futuros)

# Inclusão do Ciclo de Carbono no CPTec PVM

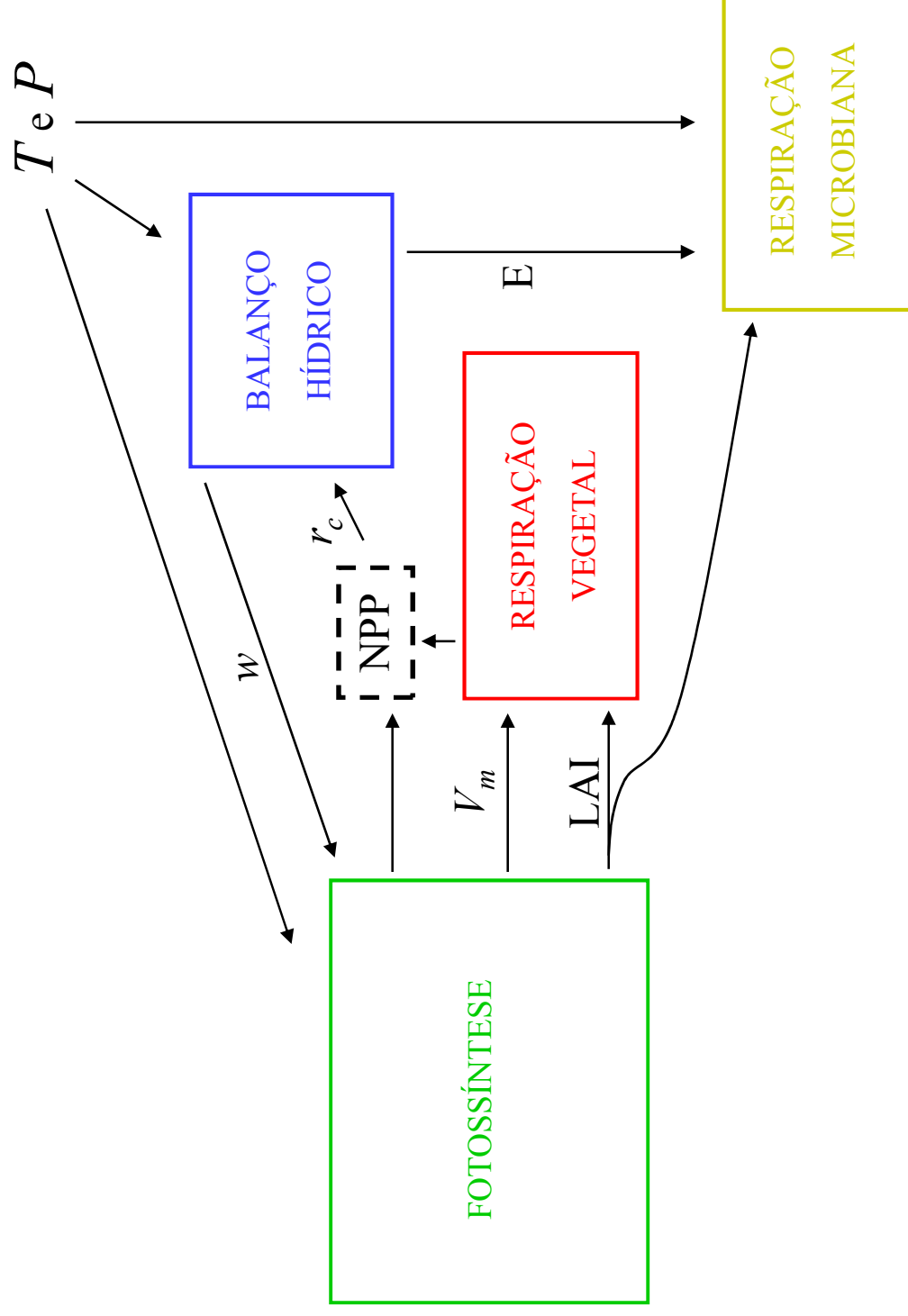
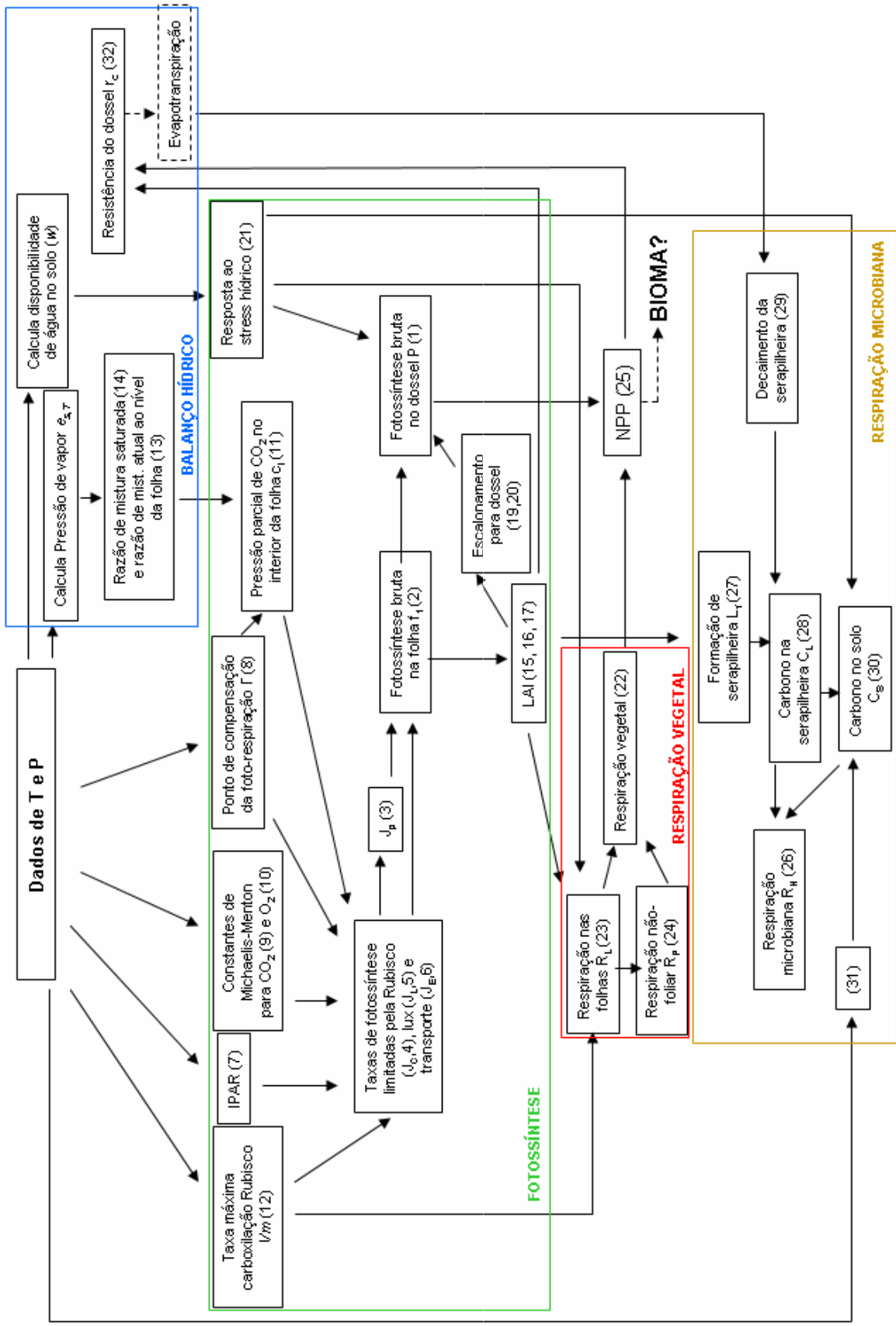


Diagrama esquemático simplificado do sub-modelo de ciclo de carbono proposto, apresentando os processos que influenciam em cada compartimento.  $T$ : temperatura;  $P$ : precipitação;  $w$ : água no solo;  $V_m$ : taxa de carboxilação da Rubisco;  $LAI$ : índice de área foliar;  $NPP$ : produtividade primária líquida;  $r_c$ : resistência do dossel;  $E$ : evapotranspiração. Fonte: Lapola, 2007.



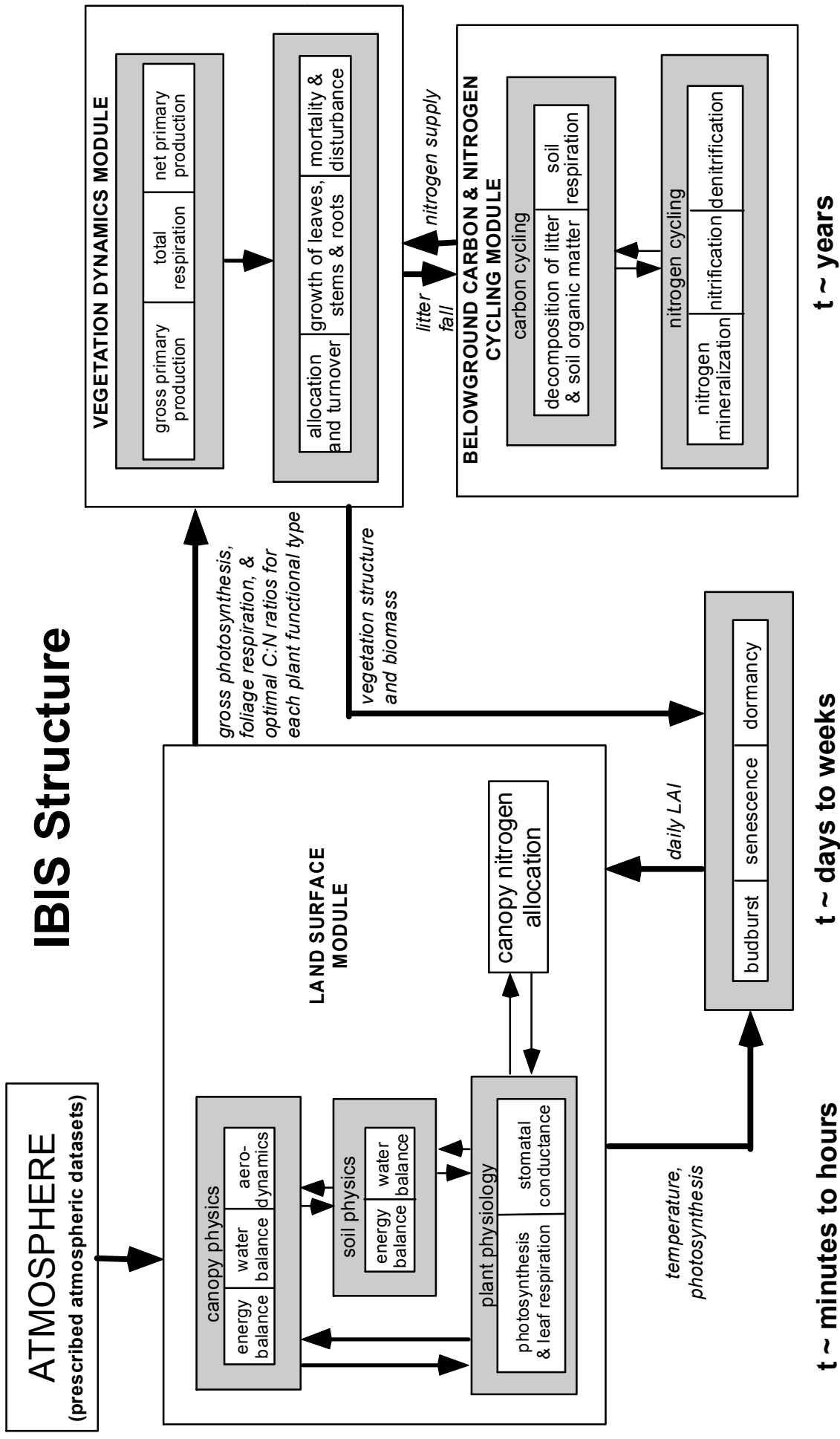
Sequência detalhada de cálculo do sub-modelo de ciclo de carbono. Os números entre parênteses indicam as equações apresentadas em Lapola, 2007.

# ***IBIS***

- Integrated Biosphere Simulator
- Disponibilizado em março 1996
- Primeiro modelo a integrar fluxos de energia, água e carbono, fenologia, dinâmica de vegetação e ciclo do carbono terrestre
- Acoplado aos modelos atmosféricos NCAR GENESIS2, NCAR CCM3, LLNL PCM e NCAR CCSM3
- Mais recentemente acoplado ao modelo global do CPTec
- Participou do IPCC AR4 e C<sup>4</sup>MIP

# Integrated Biosphere Simulator (IBIS)

É um modelo de processos superficiais de 4ª geração que integra trocas de massa e energia, ecofisiologia vegetal, fenologia, dinâmica de vegetação e ciclo do carbono terrestre completo





O IBIS simula os processos:

- da superfície terrestre (trocas de energia, água e momentum entre o solo, a vegetação e a atmosfera);
- fenologia do dossel (fotossíntese e condutância do dossel);
- fenologia da vegetação (produção de folhas e envelhecimento);
- vegetação dinâmica (distribuição, reciclagem e competição entre os tipos de vegetação);
- o balanço de carbono terrestre (produção primária líquida, reciclagem do tecido vegetal, carbono no solo e decomposição da matéria orgânica).

O IBIS representa a cobertura de vegetação como uma coleção de tipos funcionais de planta ("plant functional types" – PFT), onde cada PFT é caracterizado em termos de biomassa (carbono na folhas, troncos e raízes finas) e índice de área foliar (IAF).

A cobertura da vegetação é representada como uma combinação de **doze** PFTs, sendo **oito** árvores e **quatro** plantas herbáceas) que são adaptadas de Prentice et al. (1992).

A distribuição geográfica de cada PFT é determinada usando um conjunto simples de restrições climáticas como em Prentice et al. (1992) e Haxeltine e Prentice (1996).

# IBIS Plant Functional Types

## TREES

- Tropical broadleaf evergreen
- Tropical broadleaf drought-deciduous
- Temperate broadleaf evergreen
- Temperate conifer evergreen
- Temperate broadleaf cold-deciduous

- Boreal conifer evergreen

- Boreal broadleaf cold-deciduous

- Boreal conifer cold-deciduous

## SHRUB/GRASS

- Evergreen shrub
  - Winter wheat
- Cold-deciduous shrub
- Cool grass (C3 pathway)
  - Warm grass (C4)

## Resultados de três Estudos para a Amazônia:

1) Biomas potenciais em equilíbrio após 40% de desflorestamento. Savanização da Amazônia e semi-deserto no Nordeste.

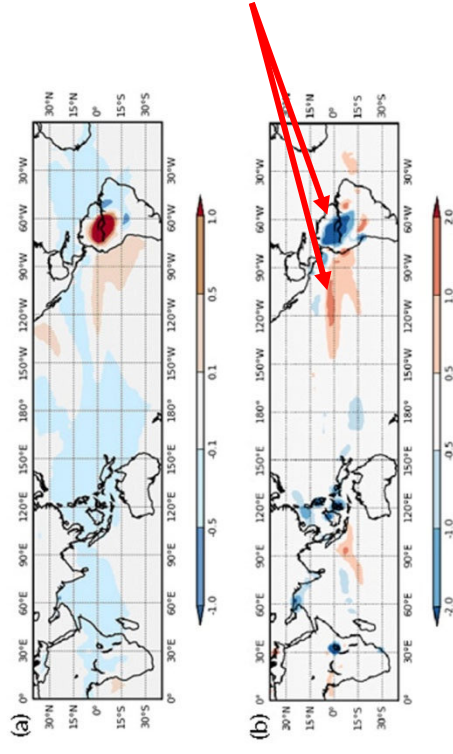
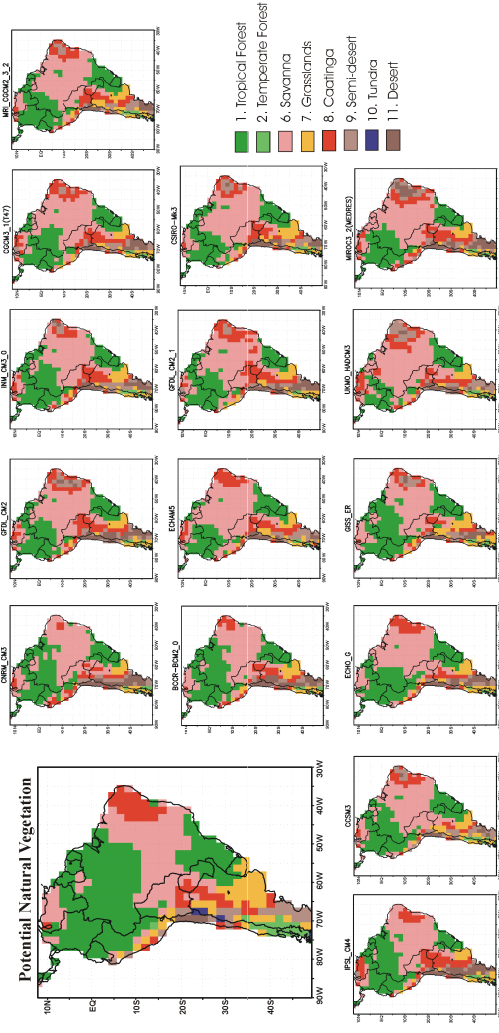
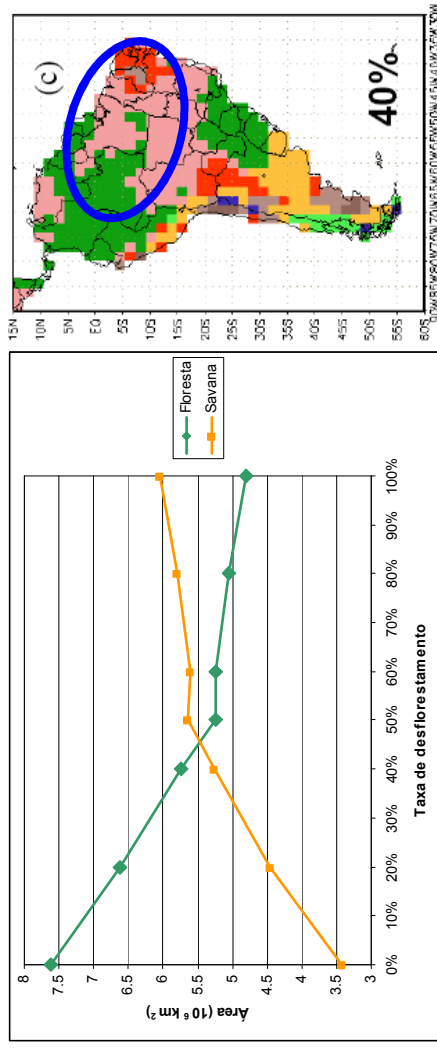
Fonte: Sampaio, 2008.

2) Biomas potenciais em equilíbrio para o cenário A2 de GEE – período: 2090-2099. Savanização da Amazônia e semi-deserto no Nordeste.

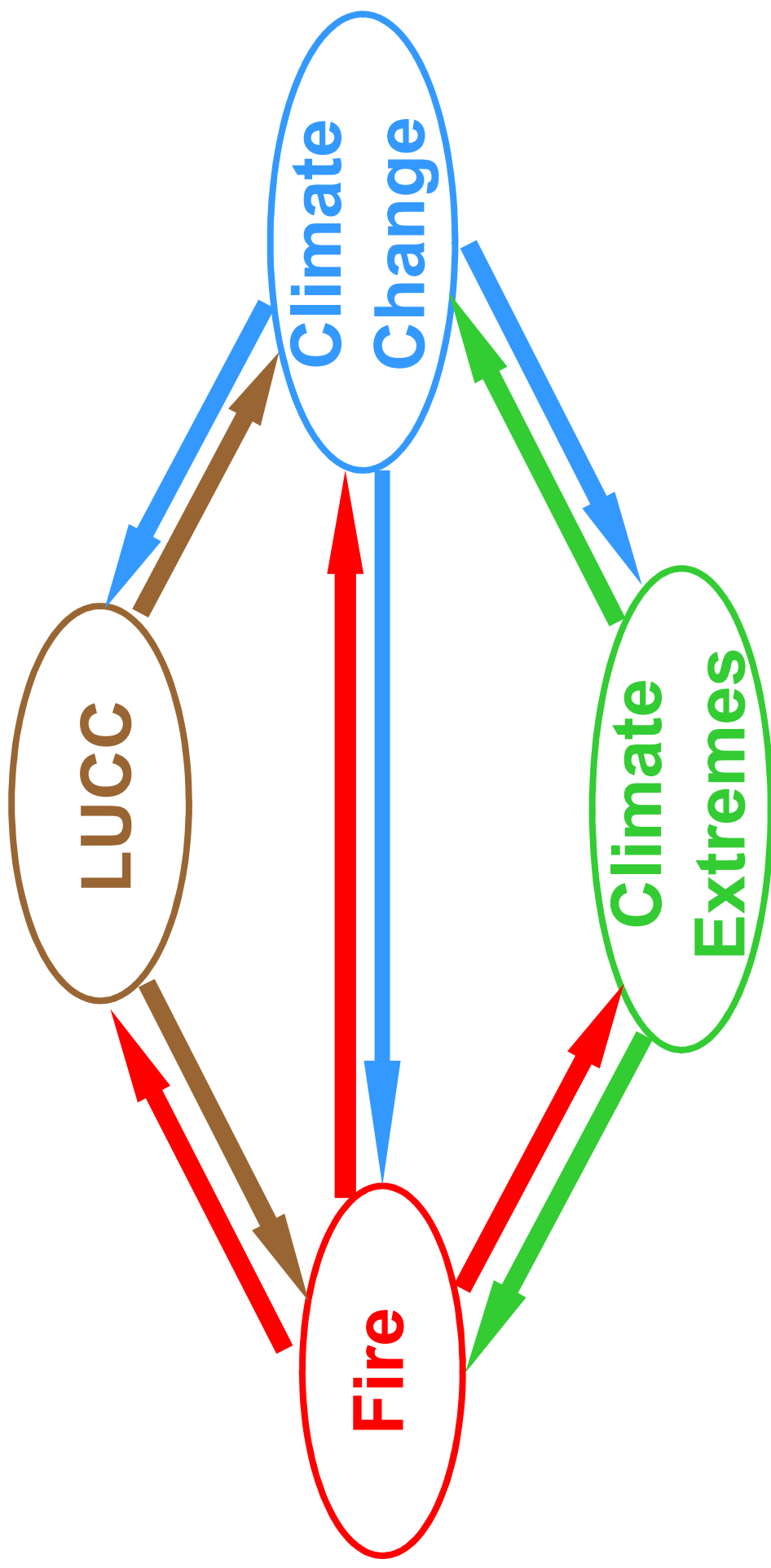
Fonte: Salazar et al., 2007.

3) O desflorestamento da Amazônia, aumenta a temperatura e diminui a precipitação na região. Há amplificação do fenômeno El Niño-Oscilação Sul.

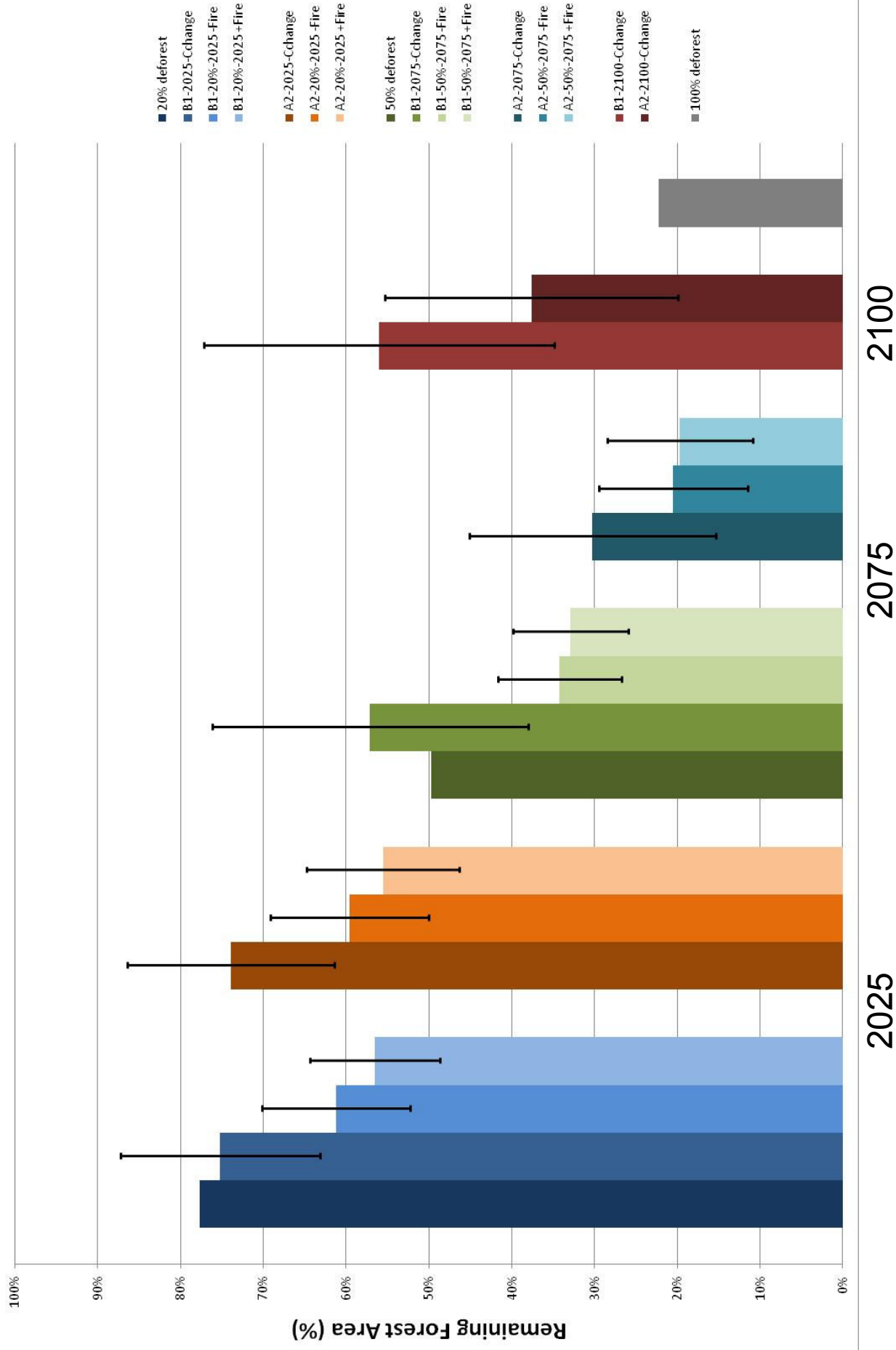
Fonte: Nobre et al., 2008.



**The ecosystems of Amazonia are subjected to different environmental forces**



# Amazonia





## **Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST)**

- Desenvolve pesquisas sobre mudanças climáticas regionais e globais, inclusive com a geração de cenários de climas futuros (anuais até séculos)
- Coordena o desenvolvimento e implementação do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global.
- Coordena a contribuição brasileira ao IPCC AR5.
- Abriga as secretarias executivas da REDE CLIMA, do Programa FAPESP de Pesquisas em Mudanças Climáticas Globais e a coordenação do INCT CLIMA.
- Implantará em 2010 um programa de pós-graduação em Ciência do Sistema Terrestre.
- ... entre outras responsabilidades

# Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global

Criação de um modelo que incorporará consistentemente as interações entre os relevantes processos hidro-bio-físico-químico do sistema climático global.

- São quatro componentes:
  - Atmosfera: modelo atmosférico global do CPTec
  - Oceano: modelo oceânico global do GFDL (MOM4 e suas componentes de gelo marinho e ciclos biogeoquímicos marinho)
  - Superfície: IBIS land surface model (*Integrated Biosphere Simulator*; Foley et al., 1996; Kucharik et al., 2000)
  - Química da atmosfera: modelo CATT

# *Nossas necessidades –*

*Por que precisamos do nosso próprio modelo?*

- Para representar processos que são importantes para nós e que podem ser considerados secundários em outros modelos
- Para beneficiar e integrar com múltiplos grandes programas de pesquisa no Brasil, como LBA, PRODES, GEOMA, BIOEN, BIOTA, etc.
- Formar uma nova geração de modeladores do sistema terrestre

# ***O componente superficial do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global***

- **Será um modelo integrado de processos superficiais**
  - Vai além de dinâmica de vegetação pura
  - Também não pretendemos seguir o caminho da demografia de ecossistemas
- **Pretendemos desenvolver nosso modelo integrado sobre o Integrated Biosphere Simulator (IBIS) v. 2.6**

# *Processos a serem representados*

Fluxos de radiação, energia e massa

**IBIS 2.6**

Ciclo do carbono terrestre completo

**IBIS 2.6**

Fenologia e dinâmica de vegetação

**IBIS 2.6**

Recuperação de áreas abandonadas

**IBIS 2.6**

Culturas agrícolas

**Agro-IBIS**

Vazão e áreas inundadas sazonais

**THMB 2 / HAND**

Representação específica ecossistemas América do Sul

**IBIS 3 / INLAND 1**

Incêndios (ignição, combustão, propagação, emissões)

**IBIS 3 / INLAND 1**

Uso do solo antropogênico (desmatamento)

**IBIS 3 / INLAND 1**

Fertilidade do solo, ecofisiologia melhorada

**IBIS 3 / INLAND 1**

Geleiras continentais

**IBIS 3 / INLAND 1**

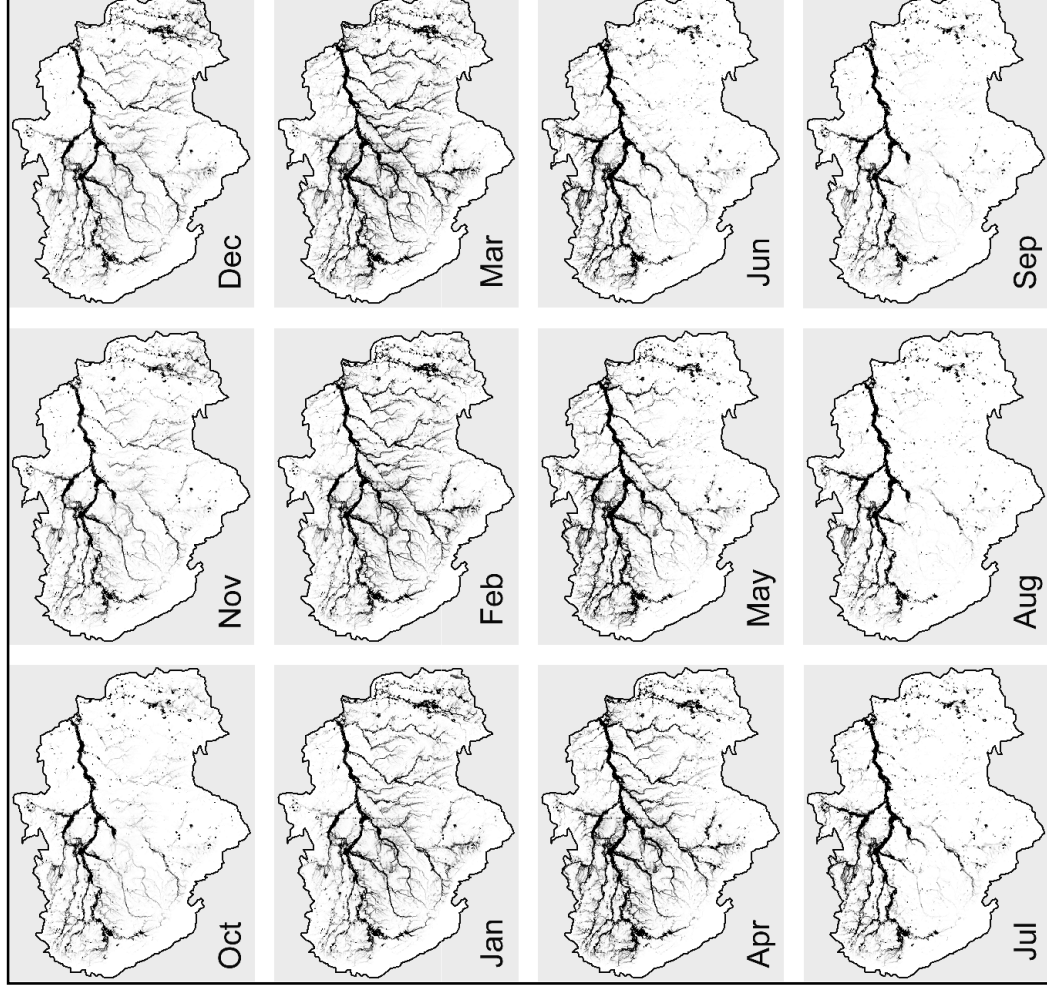
Outros processos a critério da comunidade

**INLAND 2**



# Vazão e Área Inundada

- Aplicações em diversas regiões:
  - Amazônia
  - Pantanal
  - Araguaia
- Implicações:
  - Troca de fluxos entre superfície e atmosfera
  - Hidrologia
  - Balanço de carbono



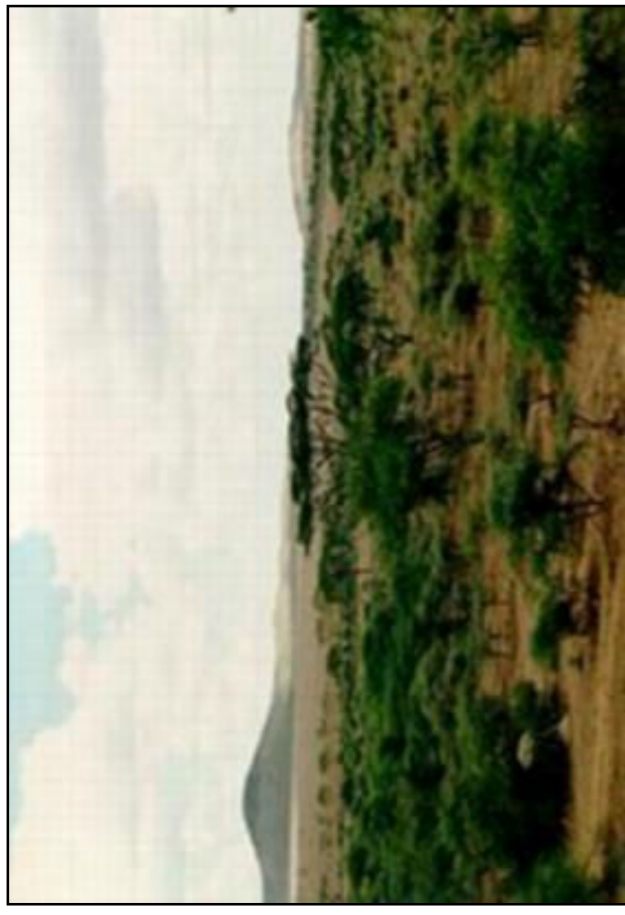
Costa et al., in press

# Representação específica de ecossistemas da América do Sul

- Provavelmente todos os modelos de biosfera usam representações globais para os grandes ecossistemas
- Apesar disso, ecossistemas semelhantes, como a savana africana e o cerrado brasileiro, são significativamente diferentes entre si
- A generalização da representação implica em erros na simulação dos fluxos
- Planeja-se regionalizar a representação dos ecossistemas no IBIS, para garantir excelente desempenho sobre a América do Sul, sem perder o bom desempenho global



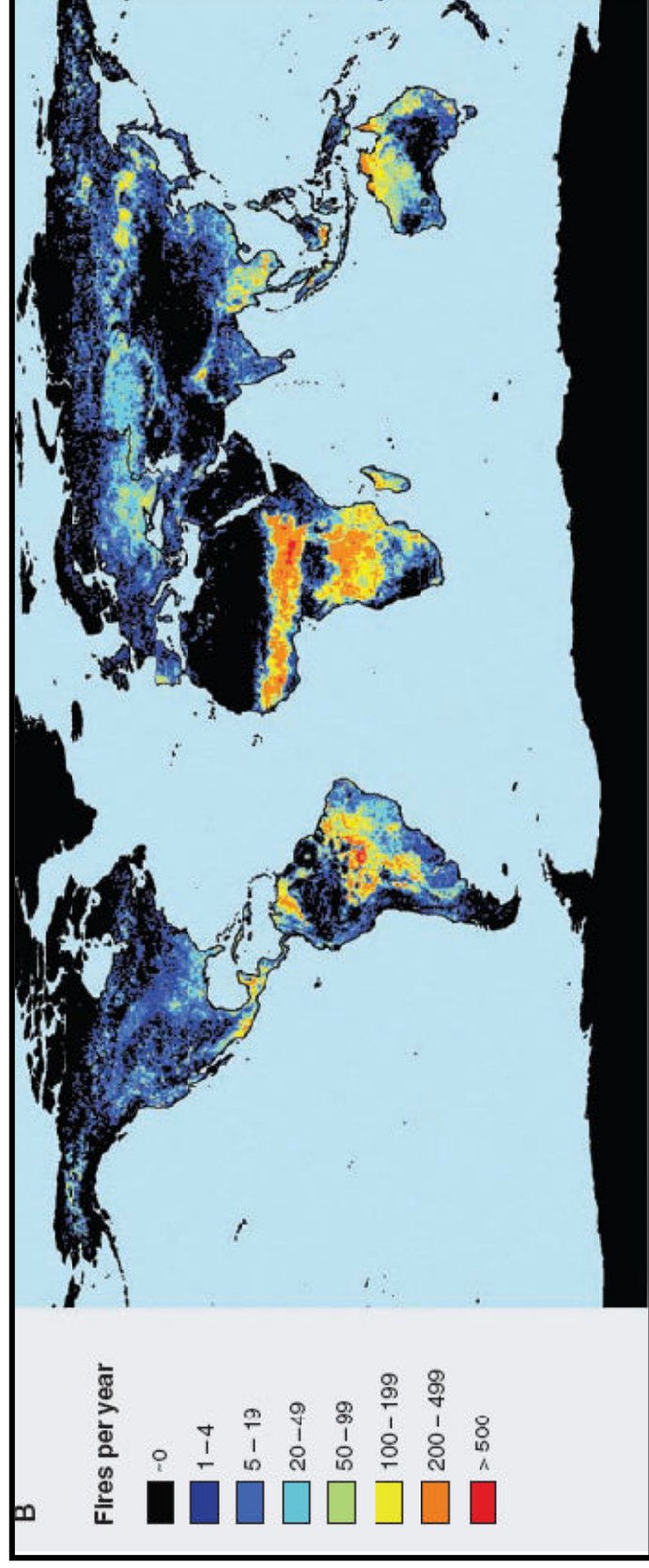
Cerrado Brasileiro



Savana africana

# *Incêndios*

Incêndios são um problema tropical!



Bowman et al. Science 2009

# *Uso antropogênico do solo (desmatamento)*

- Brasil tem altas taxas de desmatamento
  - 20.000 km<sup>2</sup> / ano só na Amazonia (PRODES)
  - ??? no resto do país
- Conexões com GEOMA e outros produtos de reconstrução histórica e cenários futuros de uso do solo
- Modelos de 4ª geração não estão preparados para trabalhar com uso do solo dinâmico
- Será padrão no AR5
- Dados específicos sobre o uso agrícola do solo importante