

# Papel das Mudanças de Uso da Terra nas Mudanças Climáticas

**Marcos Heil Costa**  
**UFV**

**II Simpósio Internacional de Climatologia**  
**São Paulo, 2 e 3 de novembro de 2007**

# Introdução

# Introdução

- Condições climáticas, incluindo precipitação, balanço hídrico sazonal, duração da estação de crescimento e temperaturas no inverno podem influenciar fortemente as espécies animais e vegetais.

# Introdução

- Condições climáticas, incluindo precipitação, balanço hídrico sazonal, duração da estação de crescimento e temperaturas no inverno podem influenciar fortemente as espécies animais e vegetais.
- Mudanças no clima podem ter um impacto profundo nos ecossistemas terrestres globalmente.
  - Estudos diversos têm demonstrado que variações climáticas num passado geológico recente estiveram acompanhadas por importantes modificações na composição e distribuição dos ecossistemas terrestres (COHMAP 1988).
  - A possibilidade de mudanças climáticas futuras devido ao aumento dos gases de efeito estufa começou a produzir especulações sobre a futura composição da biosfera terrestre.

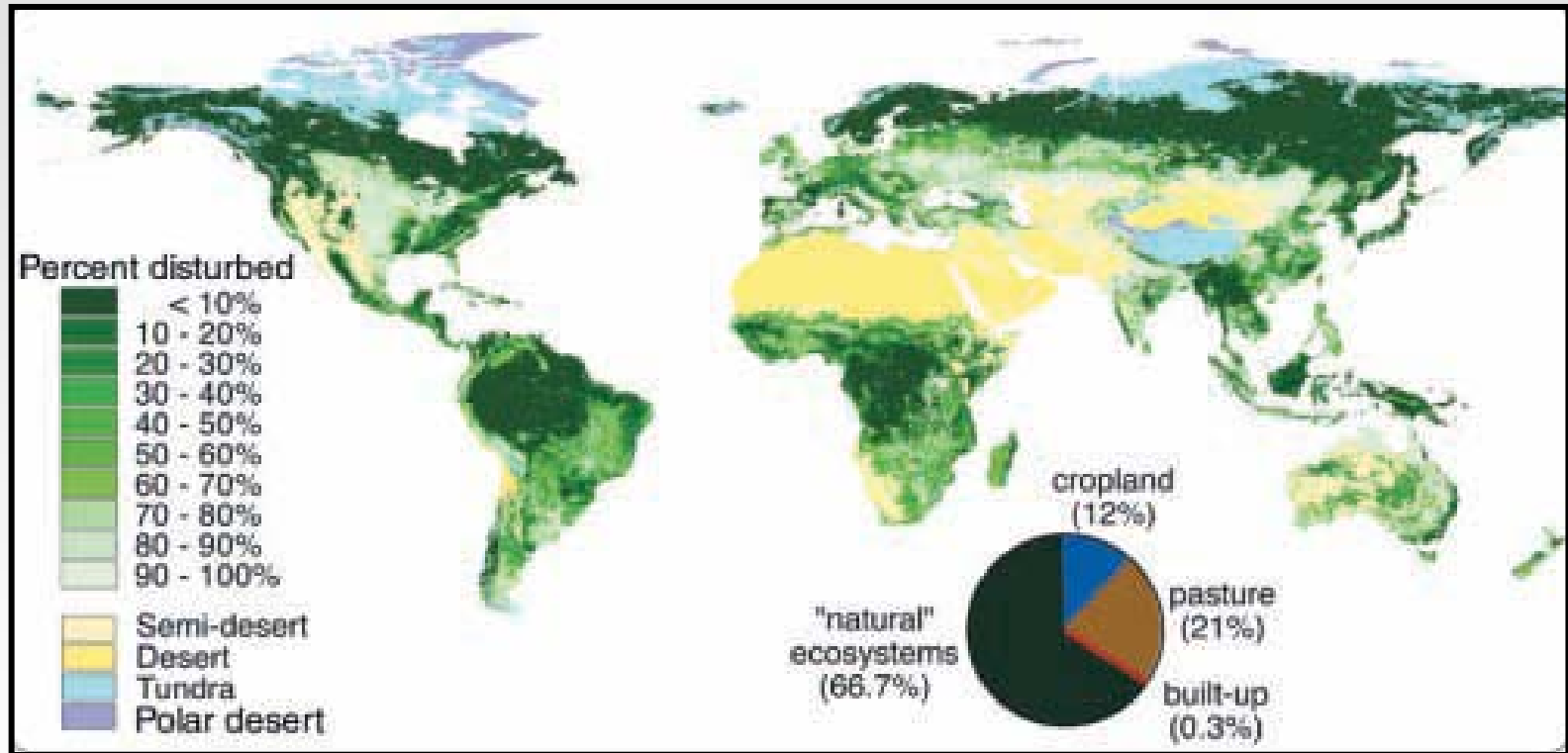
# Introdução

- Condições climáticas, incluindo precipitação, balanço hídrico sazonal, duração da estação de crescimento e temperaturas no inverno podem influenciar fortemente as espécies animais e vegetais.
- Mudanças no clima podem ter um impacto profundo nos ecossistemas terrestres globalmente.
  - Estudos diversos têm demonstrado que variações climáticas num passado geológico recente estiveram acompanhadas por importantes modificações na composição e distribuição dos ecossistemas terrestres (COHMAP 1988).
  - A possibilidade de mudanças climáticas futuras devido ao aumento dos gases de efeito estufa começou a produzir especulações sobre a futura composição da biosfera terrestre.
- Enquanto pode ser óbvio que o clima afete os ecossistemas terrestres, os ecossistemas terrestres também podem afetar o clima, por meio de processos tanto biogeofísicos (fluxos de radiação, energia e momentum) como biogeoquímicos (mudanças na composição de importantes gases, como CO<sub>2</sub>, na atmosfera).

# Resumo

1. Efeitos biogeofísicos das mudanças de uso do solo
2. Efeitos biogeoquímicos das mudanças de uso do solo
3. Retroalimentações biogeofísicas no aquecimento global
4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global
5. Conclusões
6. Direções futuras

# 1. Efeitos biogeofísicos das mudanças de uso do solo



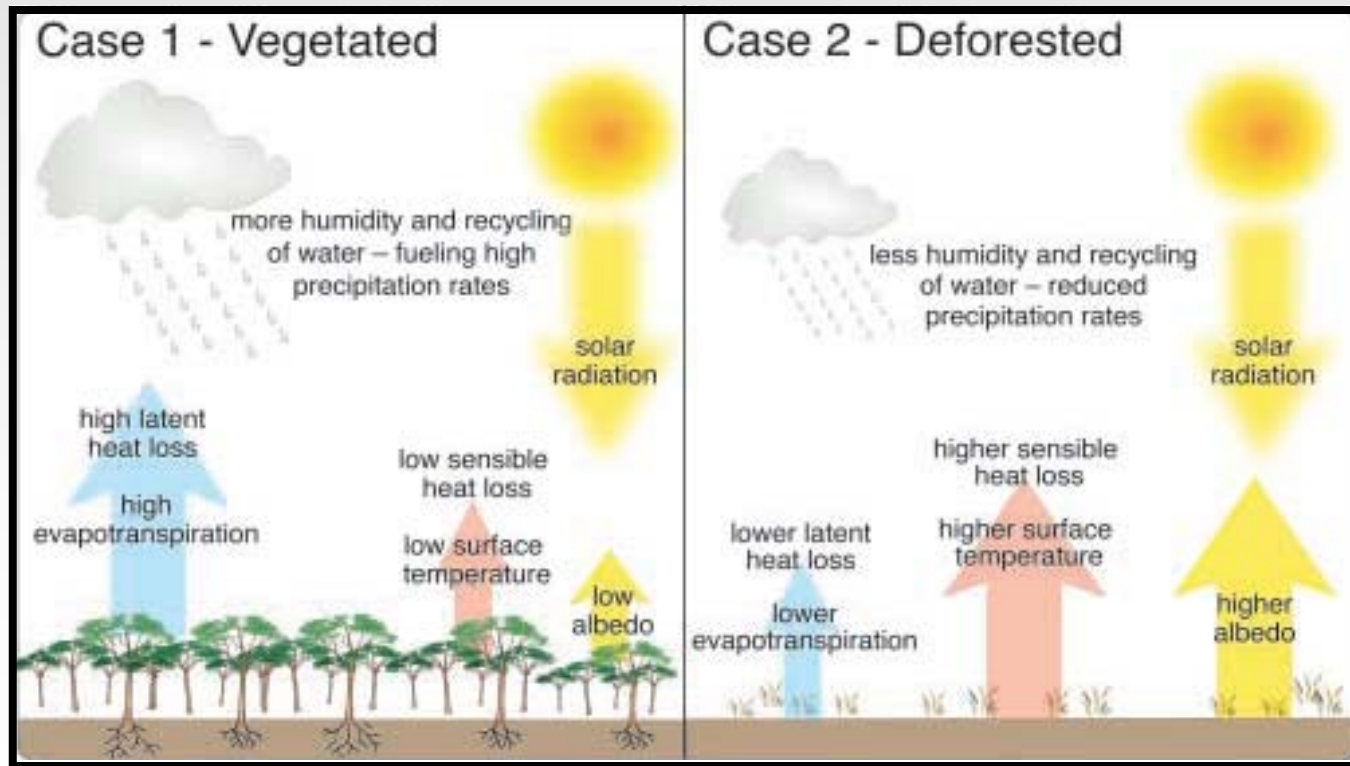
# 1. Efeitos biogeofísicos das mudanças de uso do solo

- Estudos de caso:
  - Desmatamento tropical
    - Dickinson & Henderson-Sellers 1988; Lean & Warrilow 1989; Shukla et al. 1990; Nobre et al. 1991; Henderson-Sellers et al. 1993; Hahmann & Dickinson 1997; Costa & Foley 2000; Berbet & Costa 2003; Costa et al. 2007; Sampaio et al. 2007
  - Desmatamento no semi-árido
    - Zeng *et al.* 1999; Wang & Eltahir 2000a, 2000b, 2000c, 2000d
  - Desmatamento em climas temperados
    - Copeland *et al.* 1996; Bonan *et al.* 1997, 1999; Reale & Dirmeyer 2000; Reale & Shukla 2000; Heck *et al.* 2001
  - Desmatamento em climas boreais
    - Bonan *et al.* 1992, 1995



# 1. Efeitos biogeofísicos das mudanças de uso do solo

## Efeitos do desmatamento tropical no clima



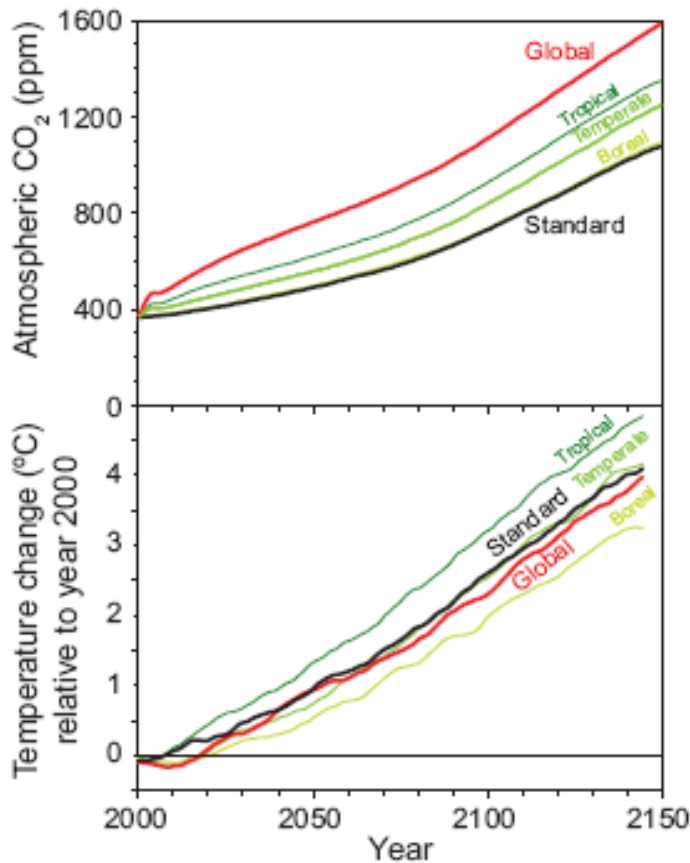
# 1. Efeitos biogeofísicos das mudanças de uso do solo

- Caracterizar o efeito de mudanças da cobertura do solo no clima não é tão simples quanto discutir aquecimento global.
- Não existem generalizações simples: algumas regiões se tornam mais quentes após desmatamento enquanto outras se tornam mais frias; algumas se tornam mais chuvosas, outras se tornam mais secas.
- Por essa razão, o efeito médio no clima global é baixo.
- Entretanto, em algumas regiões o efeito climático do desmatamento pode ser muito maior do que o do aquecimento global.

## 2. Efeitos biogeoquímicos das mudanças de uso do solo

- O efeito biogeoquímico é causado através das mudanças da composição atmosférica de CO<sub>2</sub> por meio das emissões (ou sequestro) de CO<sub>2</sub> devido às mudanças de uso do solo
- Estudos de caso
  - Bala et al. PNAS 2007
  - Pereira, tese MS UFV 2006

## 2. Efeitos biogeoquímicos das mudanças de uso do solo

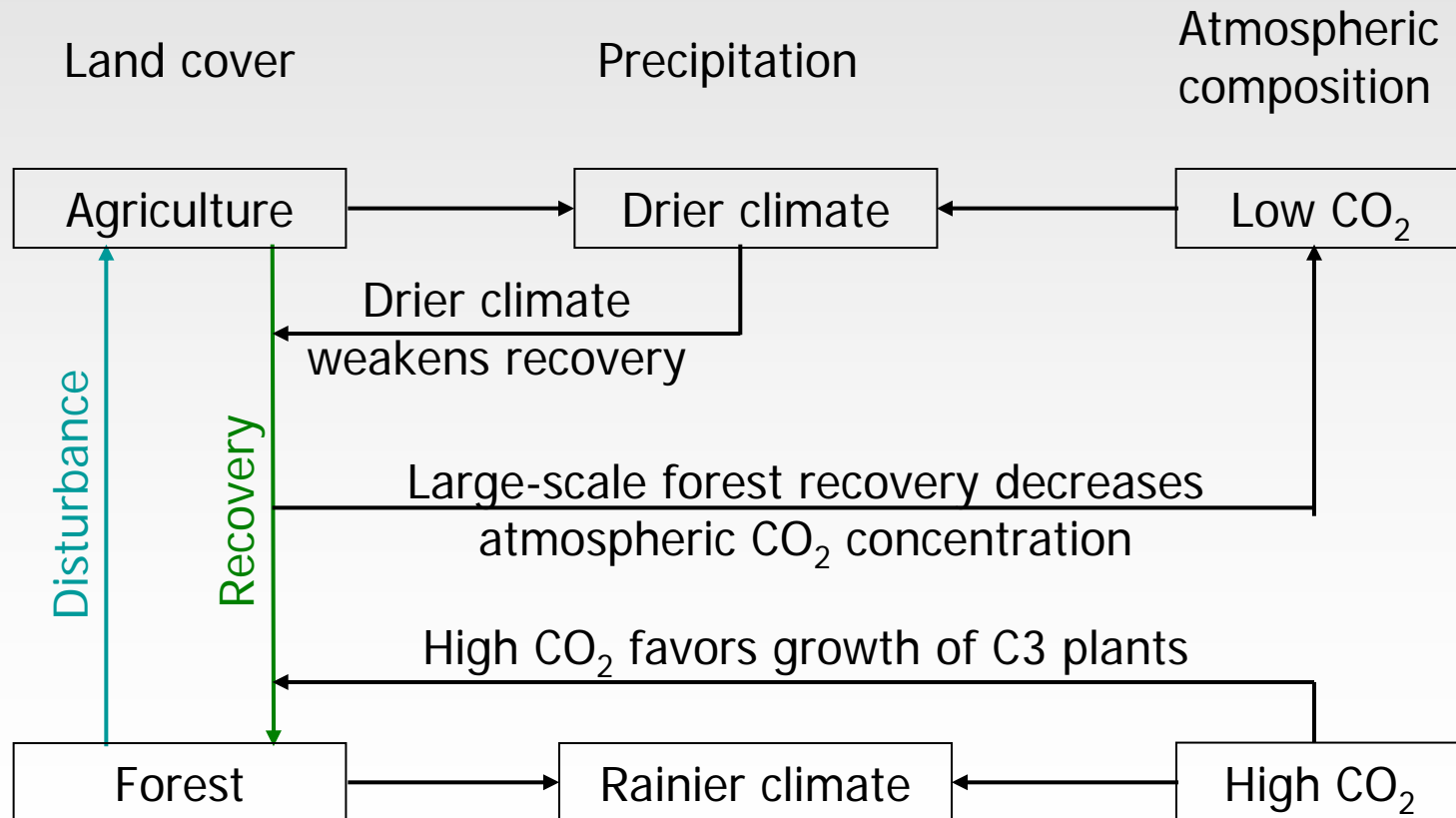


Bala et al. PNAS 2007

- Simulação de aquecimento global **standard**
- Simulação de aquecimento global + desmatamento **global**
- Simulação de aquecimento global + desmatamento **tropical**
- Simulação de aquecimento global + desmatamento **temperado**
- Simulação de aquecimento global + desmatamento **boreal**

## 2. Efeitos biogeoquímicos das mudanças de uso do solo

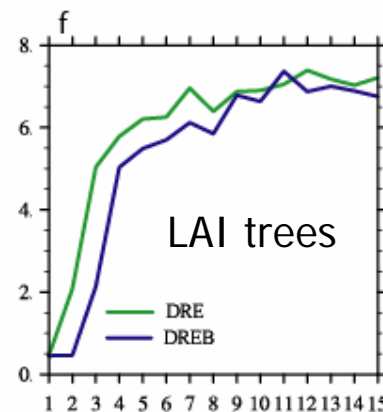
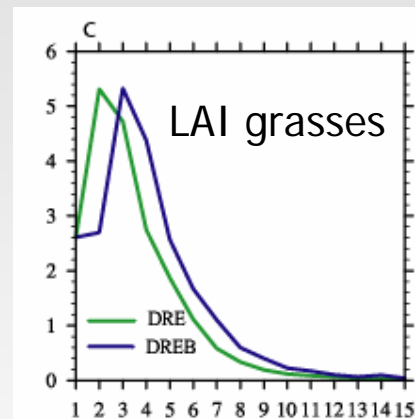
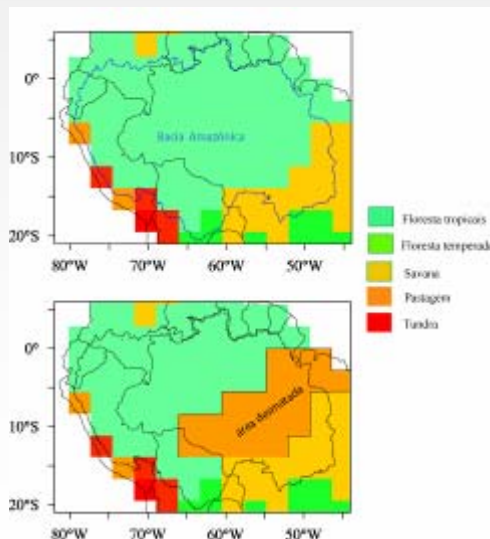
Efeitos biogeoquímicos da recuperação da floresta tropical Amazônica no clima regional  
(Marcos Paulo S. Pereira, tese MS UFV 2006)



# 2. Efeitos biogeoquímicos das mudanças de uso do solo

Efeitos biogeoquímicos da recuperação da floresta tropical no clima  
(Marcos Paulo S. Pereira, tese MS UFV 2006)

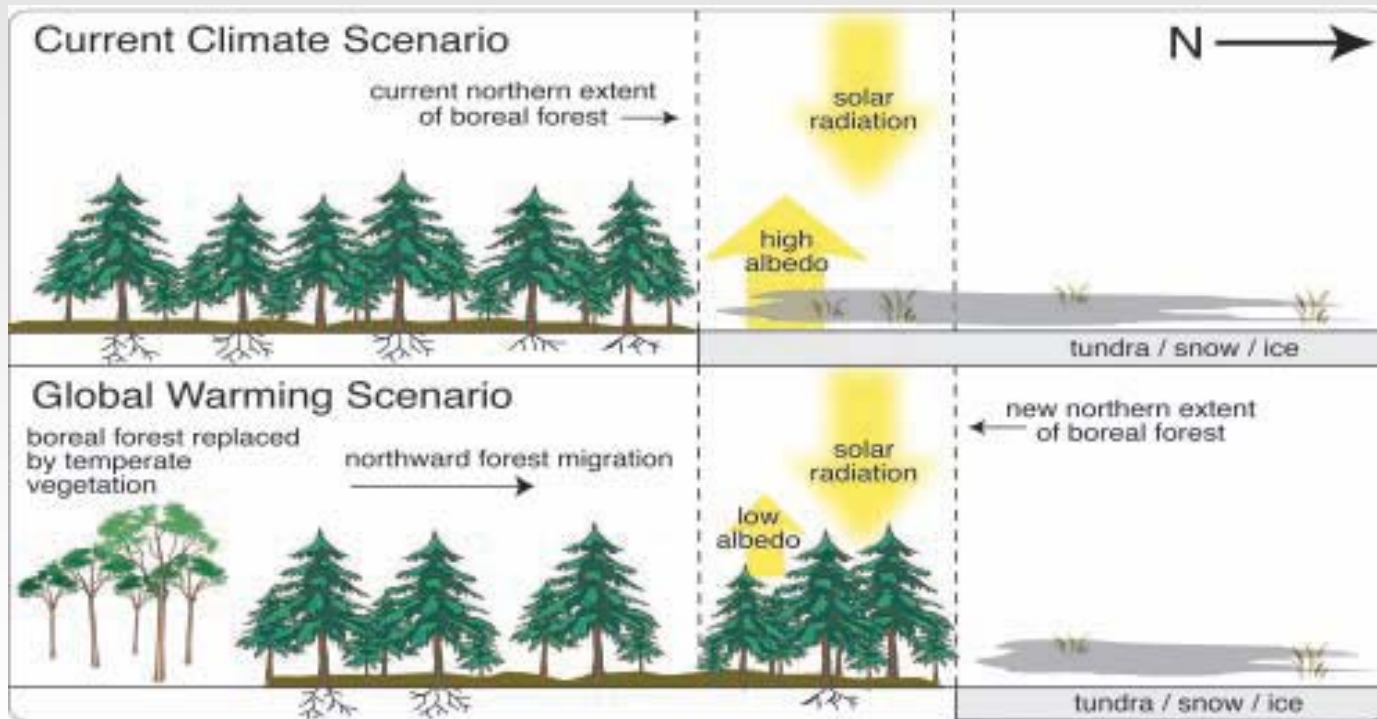
- Cenário: década de 2020
- Concentração de CO<sub>2</sub>: 420 ppm
- Uso do solo agrícola: ~960.000 km<sup>2</sup>, ou 56% da área desmatada abaixo



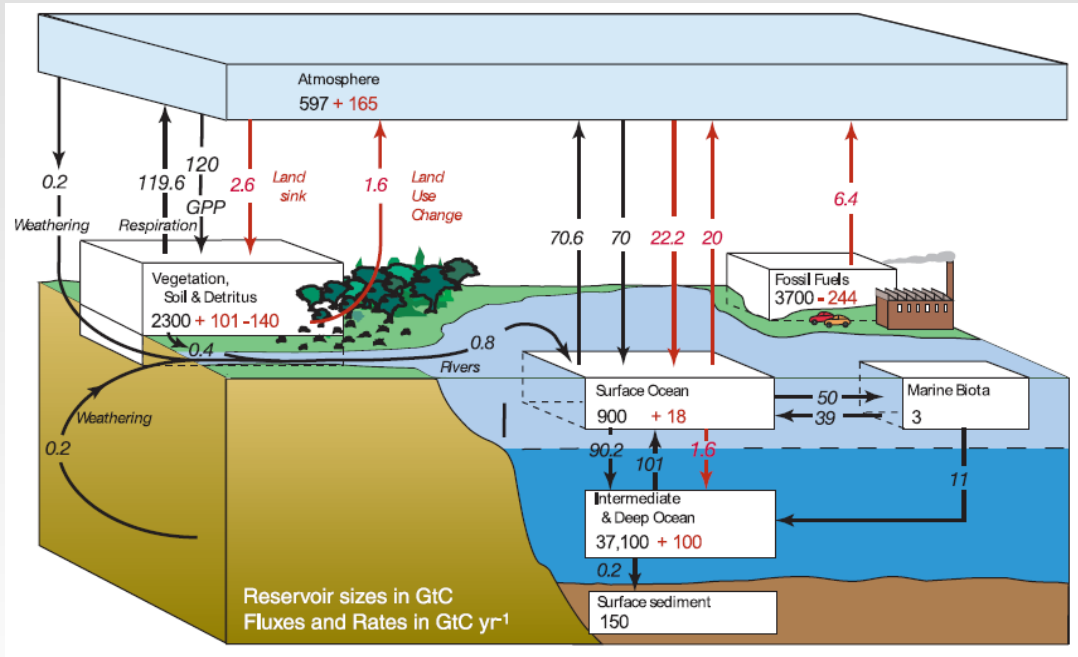
- Sequestro de carbono devido ao crescimento da biomassa após 15 anos:
  - 2 kg-C m<sup>-2</sup>
  - 1,9 Pg-C
  - 12 ppm CO<sub>2</sub>
- Ao final de 200 anos, potencial de atingir:
  - 10 kg-C m<sup>-2</sup>
  - 9,6 Pg-C
  - 60 ppm CO<sub>2</sub>

# 3. Retroalimentações biogeofísicas no aquecimento global

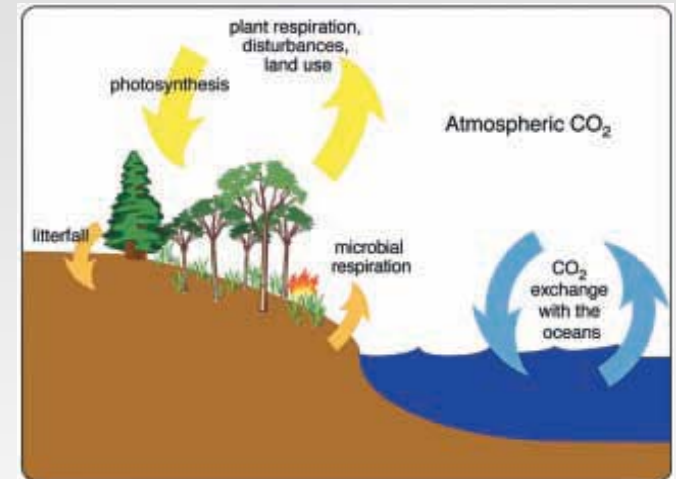
Expansão das florestas boreais em direção ao norte



# 4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global



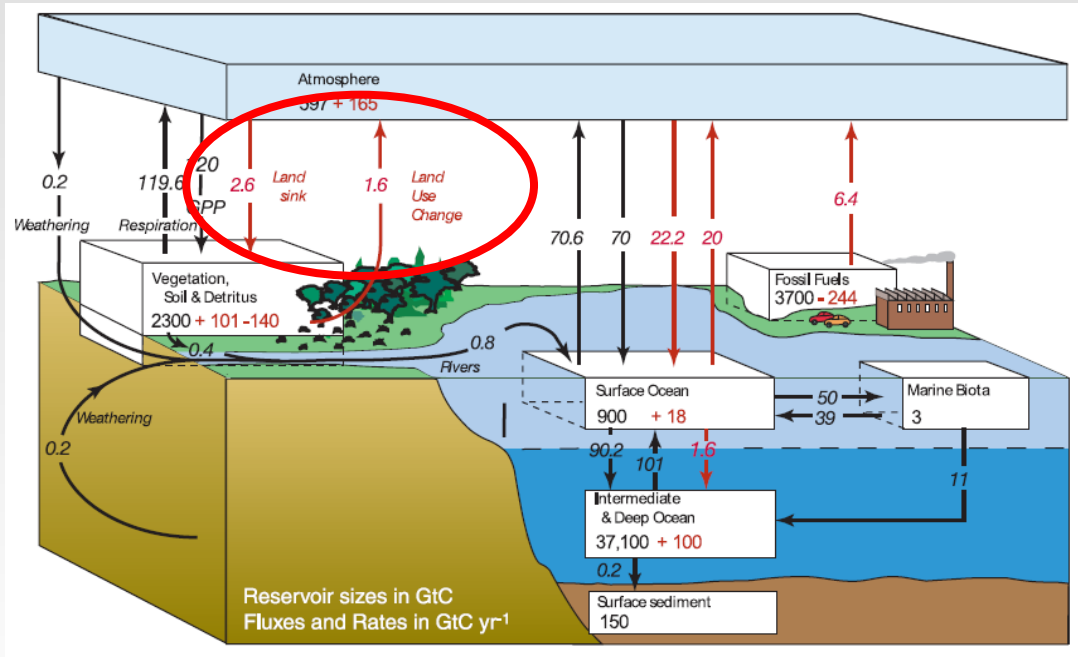
Ciclo global do carbono na década de 1990



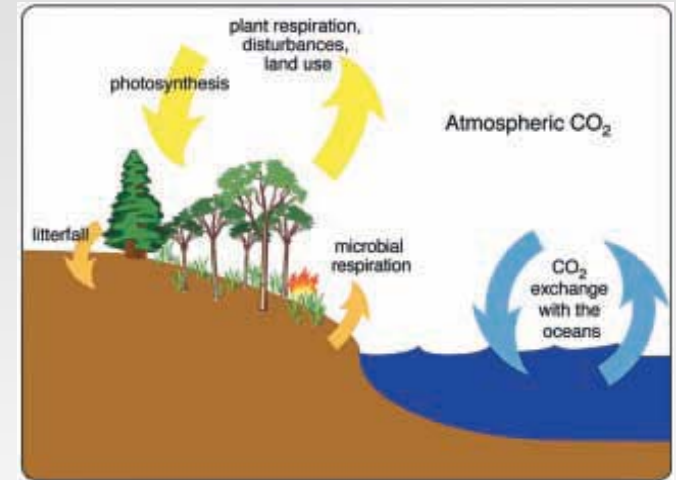
Os processos de troca de carbono entre a biosfera, os oceanos e a atmosfera são extremamente dependentes do clima



# 4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global



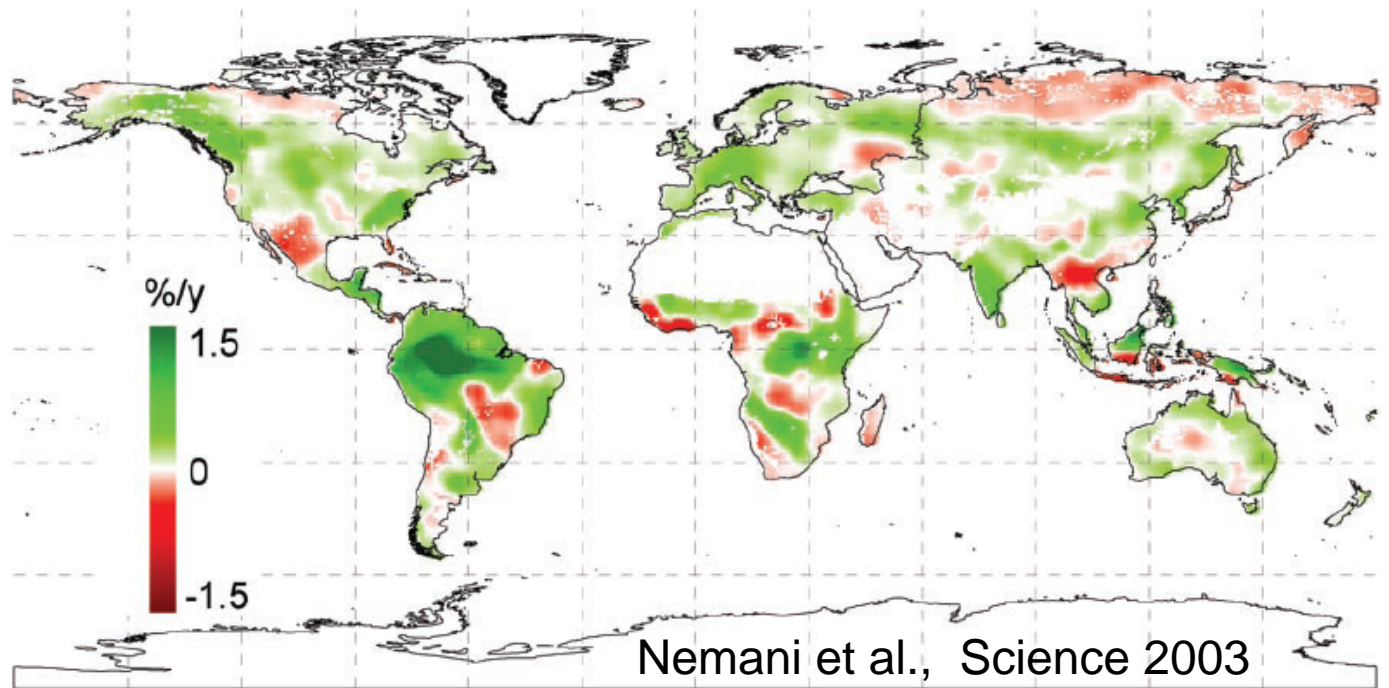
Ciclo global do carbono na década de 1990



Os processos de troca de carbono entre a biosfera, os oceanos e a atmosfera são extremamente dependentes do clima

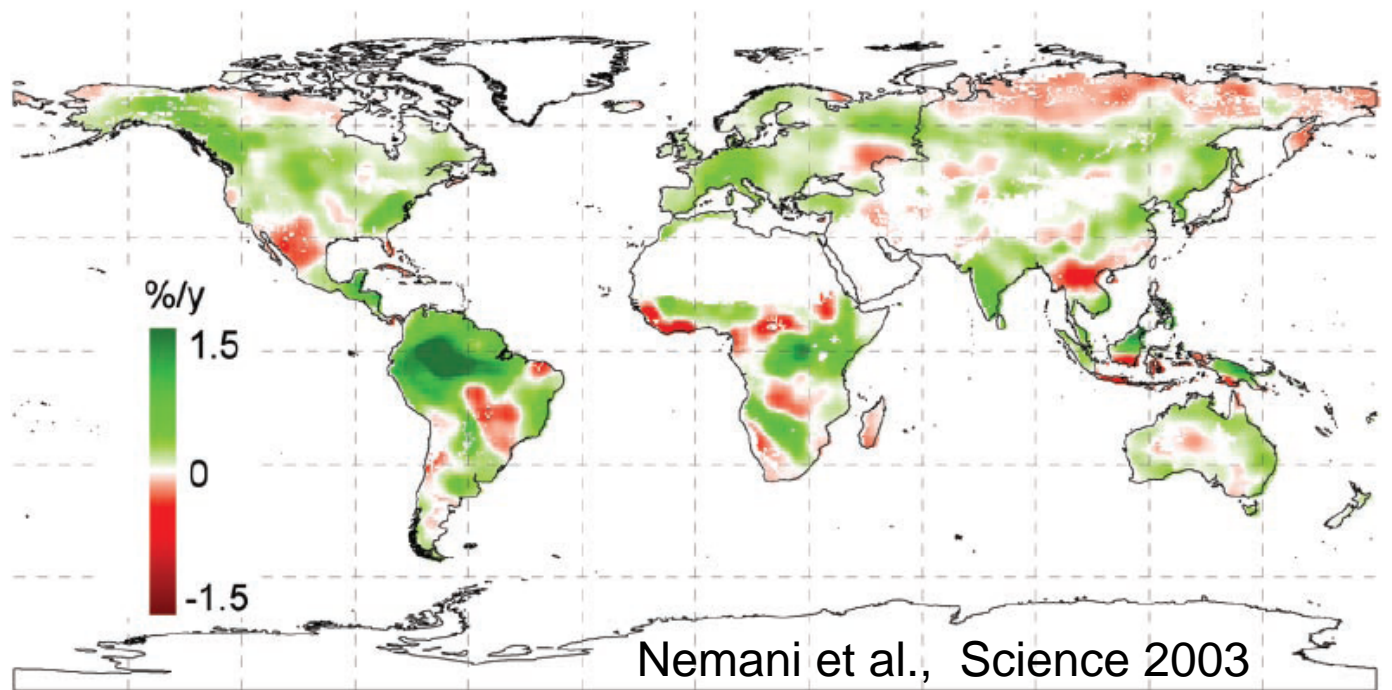
# 4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global

Fig. 2. Spatial distribution of linear trends in estimated NPP from 1982 to 1999. NPP was calculated with mean FPAR and LAI derived from GIMMS and PAL data sets.



# 4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global

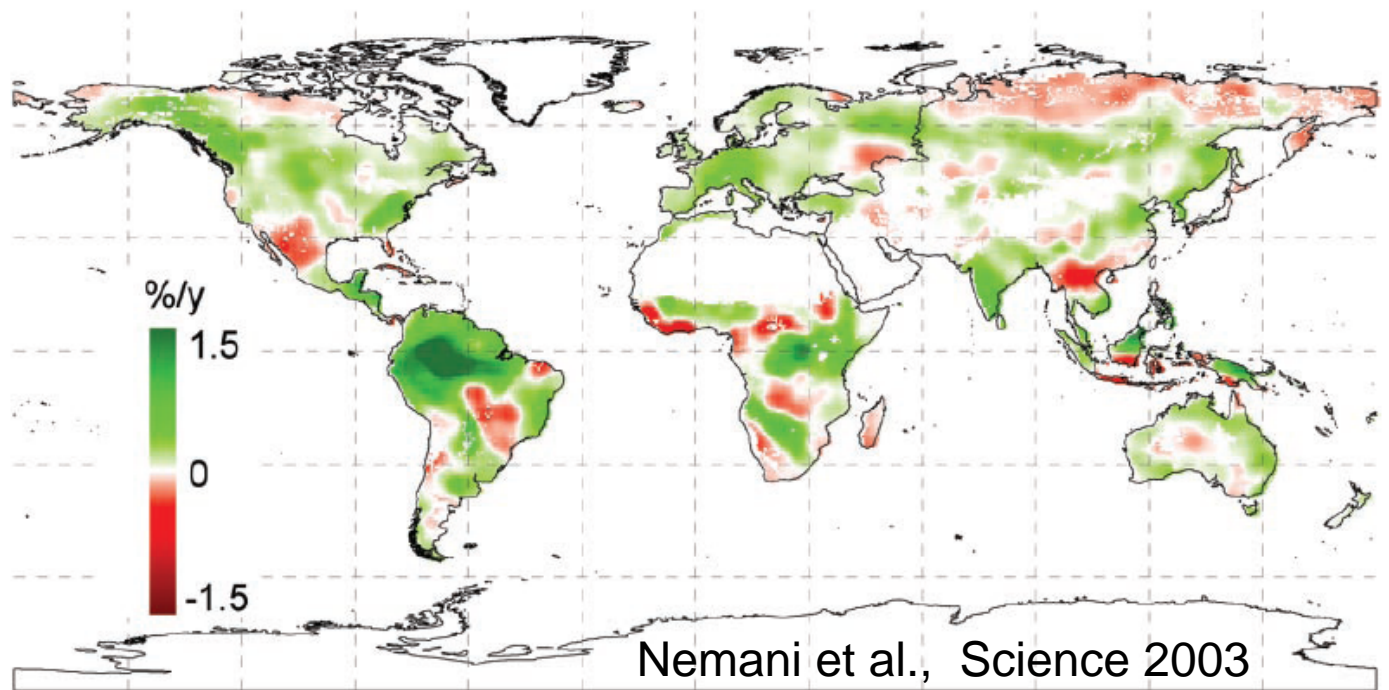
Fig. 2. Spatial distribution of linear trends in estimated NPP from 1982 to 1999. NPP was calculated with mean FPAR and LAI derived from GIMMS and PAL data sets.



- Vegetação sequestra carbono – e está sequestrando cada vez mais intensamente!

# 4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global

Fig. 2. Spatial distribution of linear trends in estimated NPP from 1982 to 1999. NPP was calculated with mean FPAR and LAI derived from GIMMS and PAL data sets.

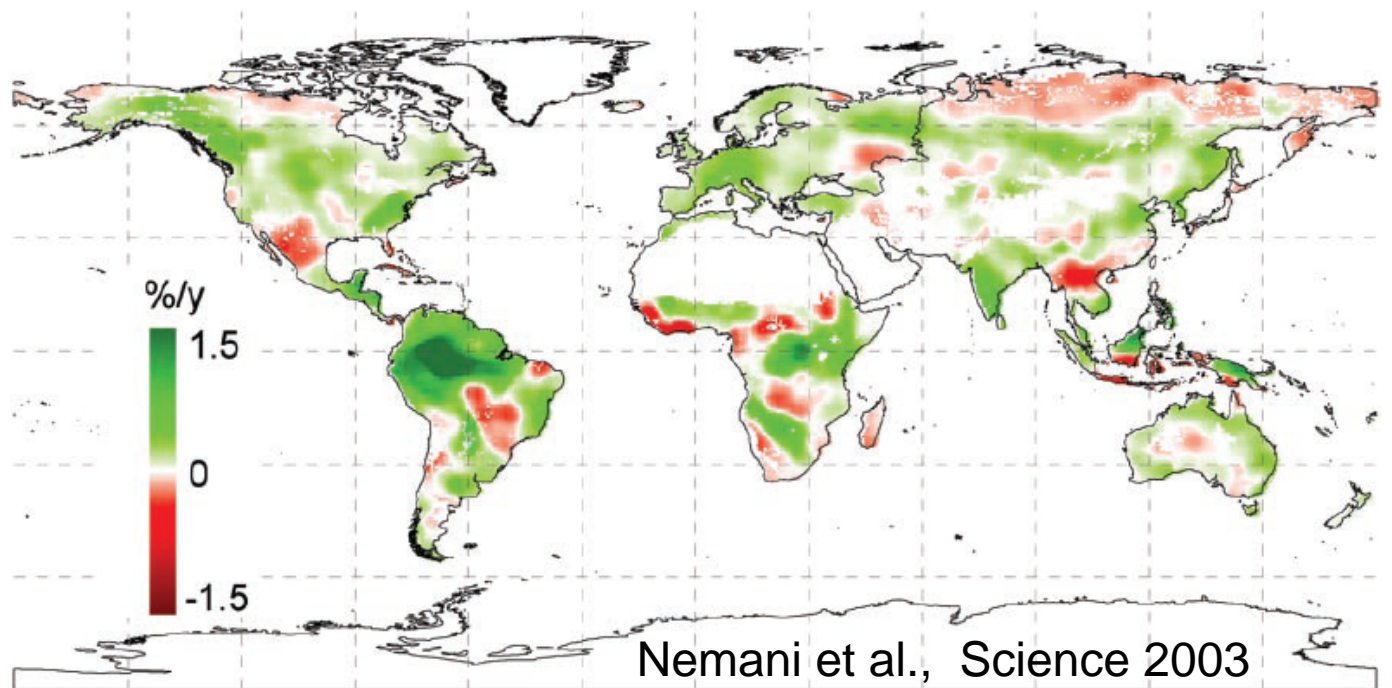


- Vegetação sequestra carbono – e está sequestrando cada vez mais intensamente!
- Sequestro de carbono pela floresta amazônica  **aumentou** de 1,4 Pg-C no período 1982-1999, ou 77 Tg-C/ano.



# 4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global

Fig. 2. Spatial distribution of linear trends in estimated NPP from 1982 to 1999. NPP was calculated with mean FPAR and LAI derived from GIMMS and PAL data sets.



- Vegetação sequestra carbono – e está sequestrando cada vez mais intensamente!
- Sequestro de carbono pela floresta amazônica  **aumentou** de 1,4 Pg-C no período 1982-1999, ou 77 Tg-C/ano.
- Emissões brasileiras pela queima de combustíveis fósseis: 59 Tg-C/ano (1991)

# 4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global: C<sup>4</sup>MIP

**Table 7.4.** Impact of carbon cycle feedbacks in the C<sup>4</sup>MIP models. Column 2 shows the impact of climate change on the CO<sub>2</sub> concentration by 2100, and column 3 shows the related amplification of the atmospheric CO<sub>2</sub> increase (i.e., the climate-carbon cycle feedback factor). Columns 4 to 8 list effective sensitivity parameters of the models: transient sensitivity of mean global temperature to CO<sub>2</sub>, and the sensitivities of land and ocean carbon storage to CO<sub>2</sub> and climate (Friedlingstein et al., 2006). These parameters were calculated by comparison of the coupled and uncoupled runs over the entire period of the simulations (typically 1860 to 2100). Model details are given in Friedlingstein et al. (2006).

Model <sup>a</sup>	Impact of Climate Change on the CO <sub>2</sub> Concentration by 2100 (ppm)	Climate-Carbon Feedback Factor	Transient Climate Sensitivity to Doubling CO <sub>2</sub> (°C)	Land Carbon Storage Sensitivity to CO <sub>2</sub> (GtC ppm <sup>-1</sup> )	Ocean Carbon Storage Sensitivity to CO <sub>2</sub> (GtC ppm <sup>-1</sup> )	Land Carbon Storage Sensitivity to Climate (GtC °C <sup>-1</sup> )	Ocean Carbon Storage Sensitivity to Climate (GtC °C <sup>-1</sup> )
A. HadCM3LC	224	1.44	2.3	1.3	0.9	-175	-24
B. IPSL-CM2C	74	1.18	2.3	1.6	1.6	-97	-30
C. MPI-M	83	1.18	2.6	1.4	1.1	-64	-22
D. LLNL	51	1.13	2.5	2.5	0.9	-81	-14
E. NCAR CSM-1	20	1.04	1.2	1.1	0.9	-24	-17
F. FRCGC	128	1.26	2.3	1.4	1.2	-111	-47
G. Uvic-2.7	129	1.25	2.3	1.2	1.1	-97	-43
H. UMD	98	1.17	2.0	0.2	1.5	-36	-60
I. BERN-CC	65	1.15	1.5	1.6	1.3	-104	-38
J. CLIMBER2-LPJ	59	1.11	1.9	1.2	0.9	-64	-22
K. IPSL-CM4-LOOP	32	1.07	2.7	1.2	1.1	-19	-17
<b>Mean</b>	<b>87</b>	<b>1.18</b>	<b>2.1</b>	<b>1.4</b>	<b>1.1</b>	<b>-79</b>	<b>-30</b>
Standard Deviation	±57	±0.11	±0.4	±0.5	±0.3	±45	±15

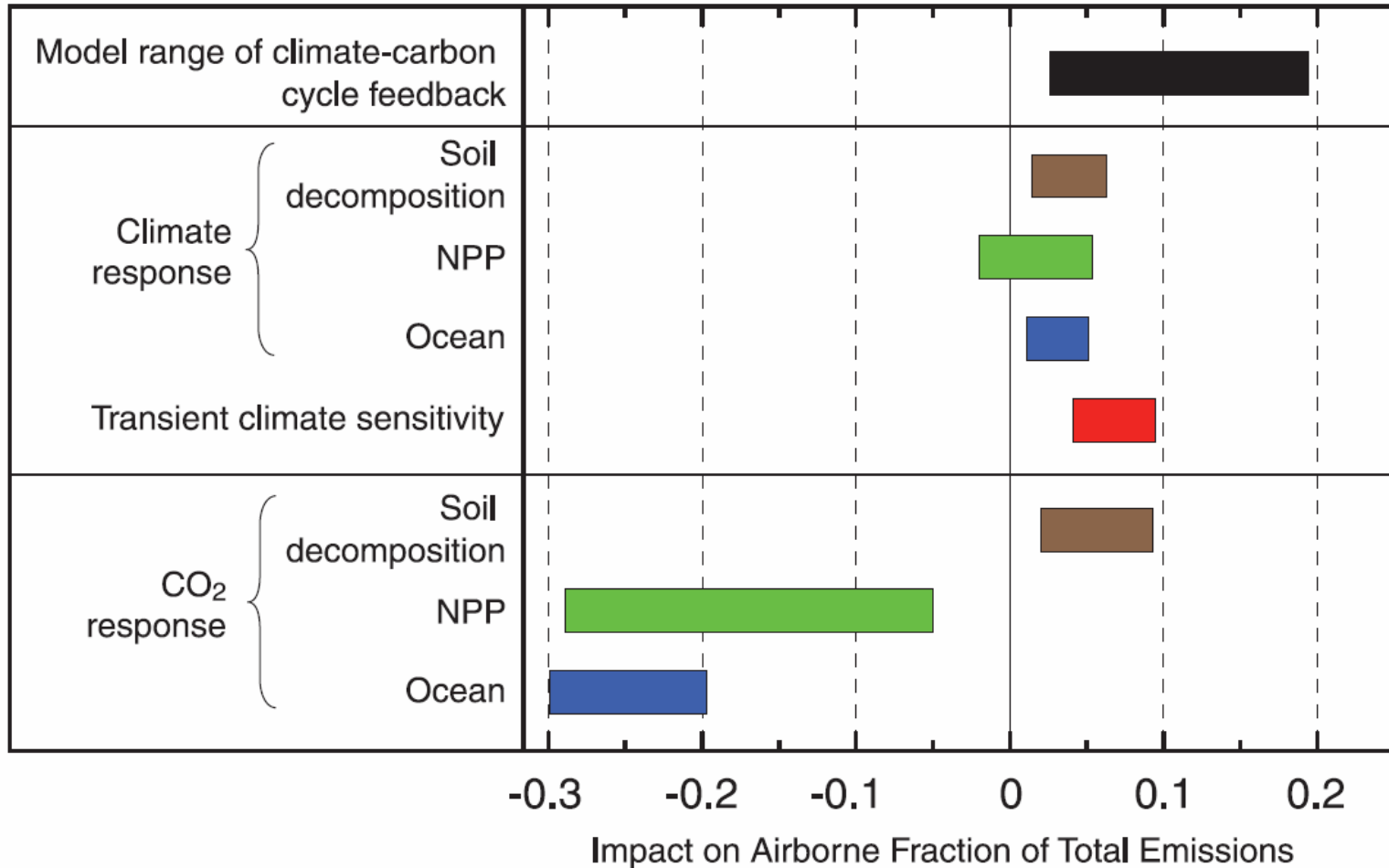
Notes:

<sup>a</sup> HadCM3LC: Hadley Centre coupled climate-carbon cycle general circulation model; IPSL-CM2C: Institut Pierre-Simon Laplace; MPI-M: Max Planck Institute for Meteorology; LLNL: Lawrence Livermore National Laboratory; NCAR CSM-1: NCAR Climate System Model version 1; FRCGC: Frontier Research Center for Global Change; Uvic-2.7: University of Victoria Earth System Climate Model; UMD: University of Maryland; BERN-CC: Bern Carbon Cycle Model; CLIMBER2-LPJ: Climate Biosphere Model 2 - Lund Potsdam Jena Terrestrial Carbon Model; IPSL-CM4-LOOP: Institute Pierre-Simon Laplace.

Cenário A2 – Ano 2100

# 4. Retroalimentações biogeoquímicas no aquecimento global: C<sup>4</sup>MIP

Uncertainties in Carbon Cycle Feedbacks



# 5. Conclusões

- Quando consideramos o futuro do clima, devemos nos lembrar que a atmosfera não opera isolada, mas acoplada aos oceanos e atmosfera, inclusive com relação ao ciclo do carbono.
- O papel da biosfera não pode ser ignorado ao prever o clima futuro
- Estudos publicados até o momento indicam que os processos ecológicos amplificariam o CO<sub>2</sub> atmosférico e o aquecimento causado pelos gases de efeito estufa



# 6. Direções futuras

## 6. Direções futuras

- Desenvolvimento de modelos acoplados do ciclo do carbono e clima de diferentes complexidades (analíticos, complexidade intermediária, C<sup>4</sup>M) – biosfera terrestre e oceanos

# 6. Direções futuras

- Desenvolvimento de modelos acoplados do ciclo do carbono e clima de diferentes complexidades (analíticos, complexidade intermediária, C<sup>4</sup>M) – biosfera terrestre e oceanos
- Necessidade de monitoramento das mudanças da vegetação
  - Vegetação sequestra carbono a taxas crescentes, mas...
  - Incerteza atual das estimativas globais de NPP é de 20%
  - Note que o NPP global (60 Pg-C/ano) é 10 vezes maior que as emissões por queima de combustíveis fósseis

# 6. Direções futuras

- Desenvolvimento de modelos acoplados do ciclo do carbono e clima de diferentes complexidades (analíticos, complexidade intermediária, C<sup>4</sup>M) – biosfera terrestre e oceanos
- Necessidade de monitoramento das mudanças da vegetação
  - Vegetação sequestra carbono a taxas crescentes, mas...
  - Incerteza atual das estimativas globais de NPP é de 20%
  - Note que o NPP global (60 Pg-C/ano) é 10 vezes maior que as emissões por queima de combustíveis fósseis
- Analistas de políticas públicas devem definir como essas incertezas serão tratadas na arena política