

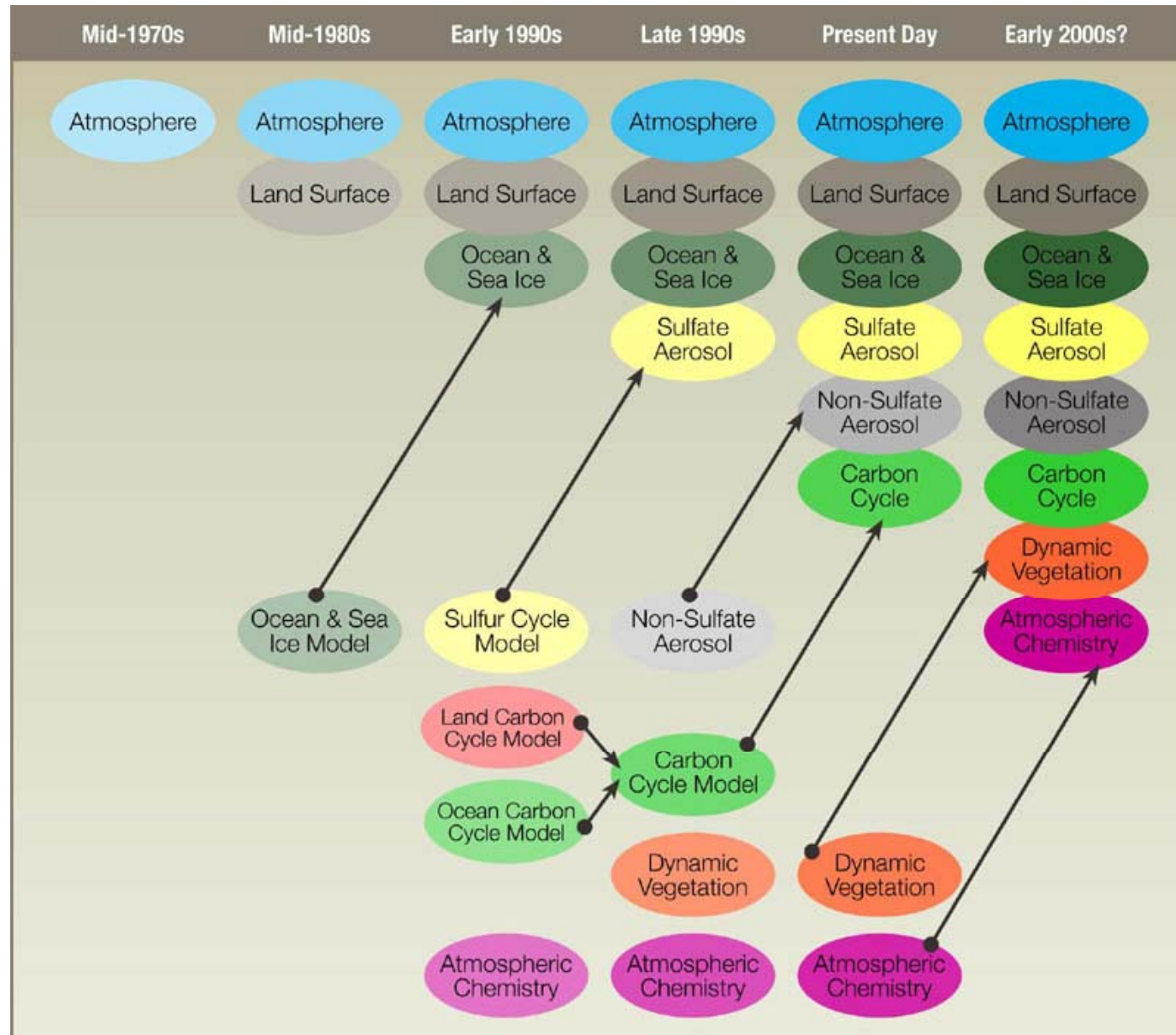
Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global – Componente: Superfície

***Integrated Model of Land Surface Processes
“Inland”***

Marcos Heil Costa – UFV

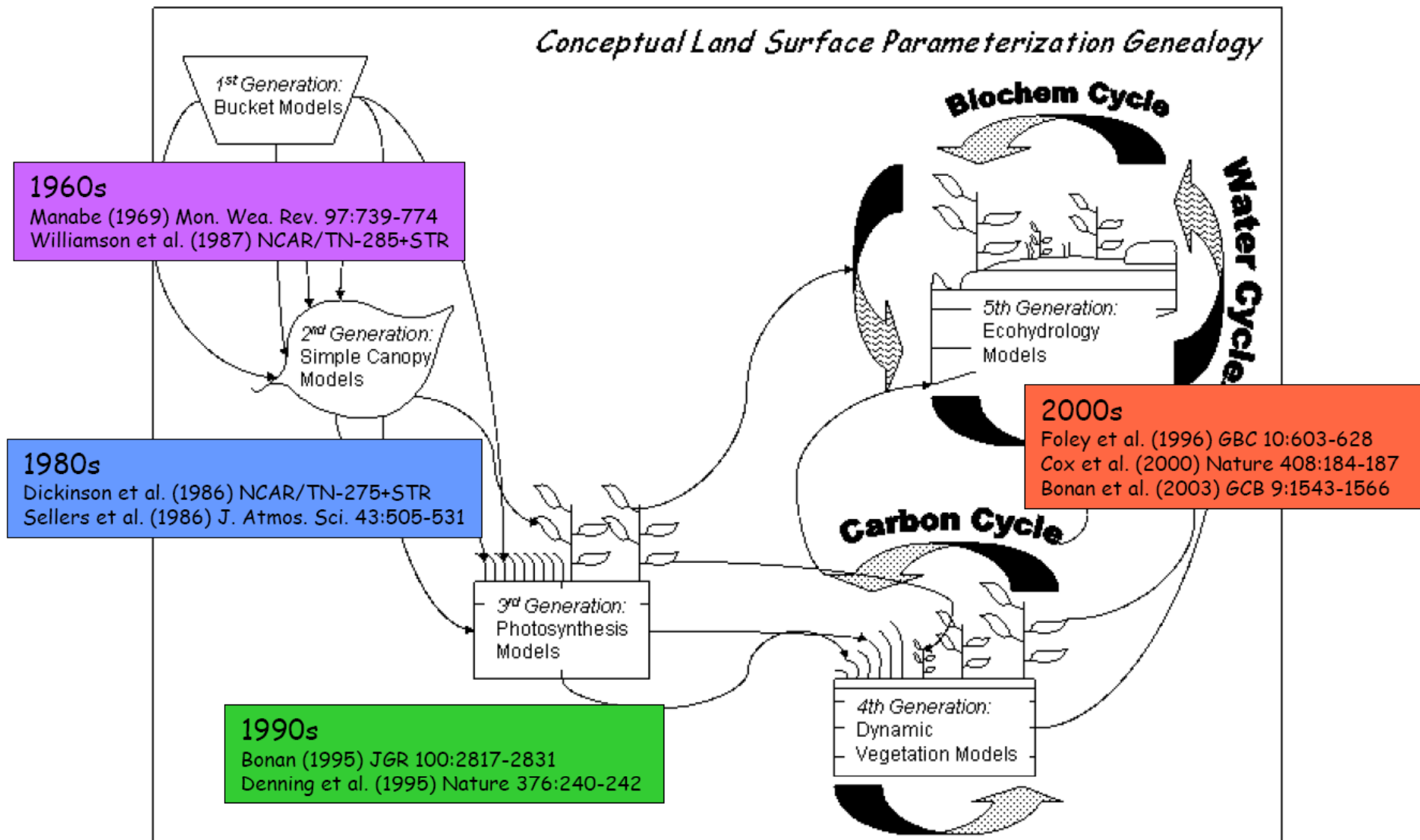
Cachoeira Paulista, 27 de julho de 2009

Evolução de Modelos do Sistema Climático



IPCC
2001

Genealogia de Parametrizações de Processos Superficiais em Modelos Climáticos



Tendências em modelagem de processos superficiais

- Modelos de 5^a 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^a & 3^a gerações usavam AVHRR
 - Modelos de 4^a geração usam MODIS/CERES
 - Modelos de 5^a geração podem usar novos sensores
 - GOSAT (2009): Fluxo de CO₂
 - DESDynI (2010-2012): Biomassa
 - SWOT (2013-2015): Área inundada, vazão

Nossas necessidades –

Por quê precisamos do nosso próprio modelo?

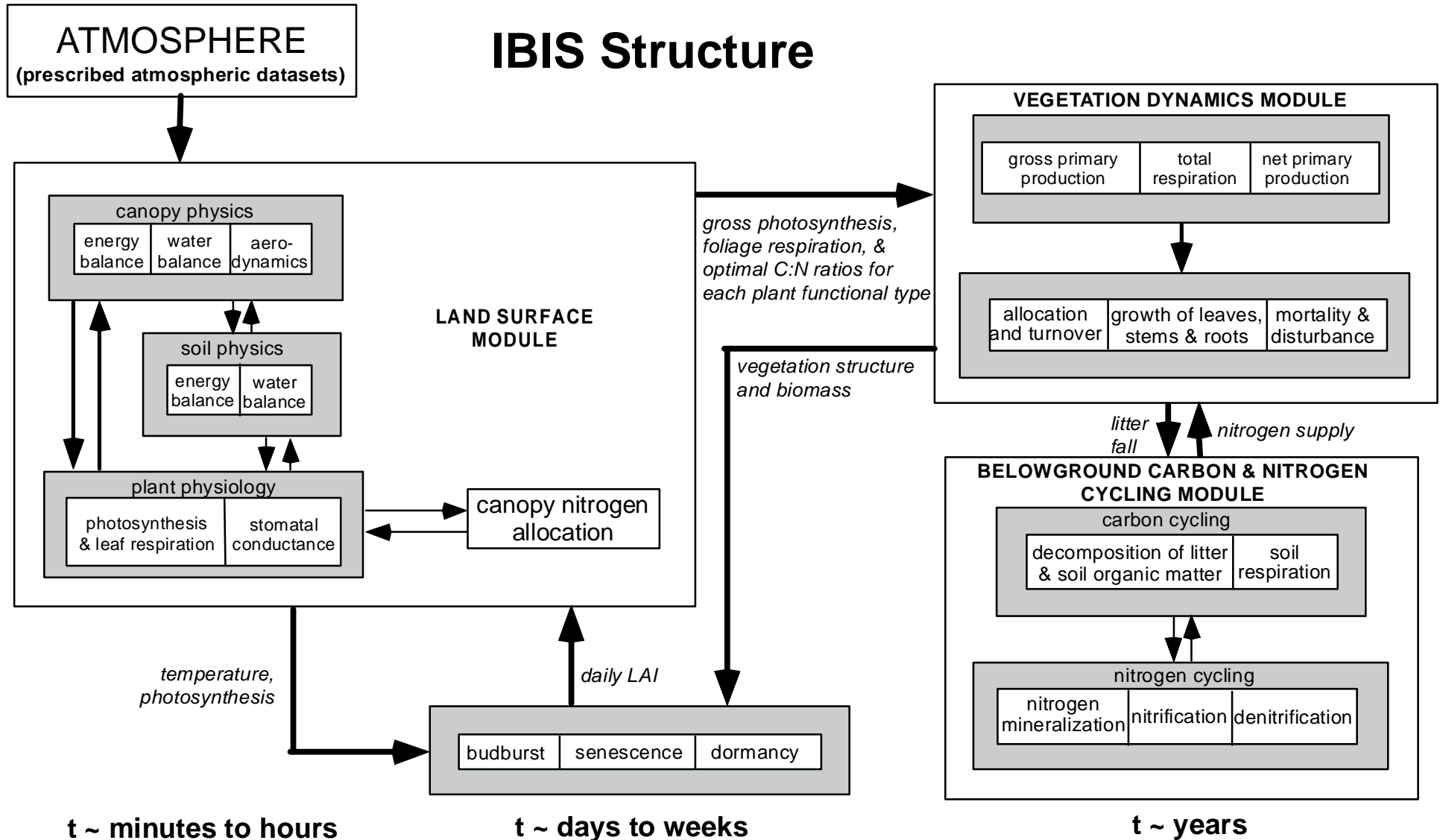
- Para representar processos que são importantes para nós e que podem ser considerados secundários em outros modelos
- Para beneficiar e integrar com múltiplos grandes programas de pesquisa no Brasil, como LBA, PRODES, GEOMA, etc.
- Formar uma nova geração de modeladores de processos superficiais

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

Estructura básica

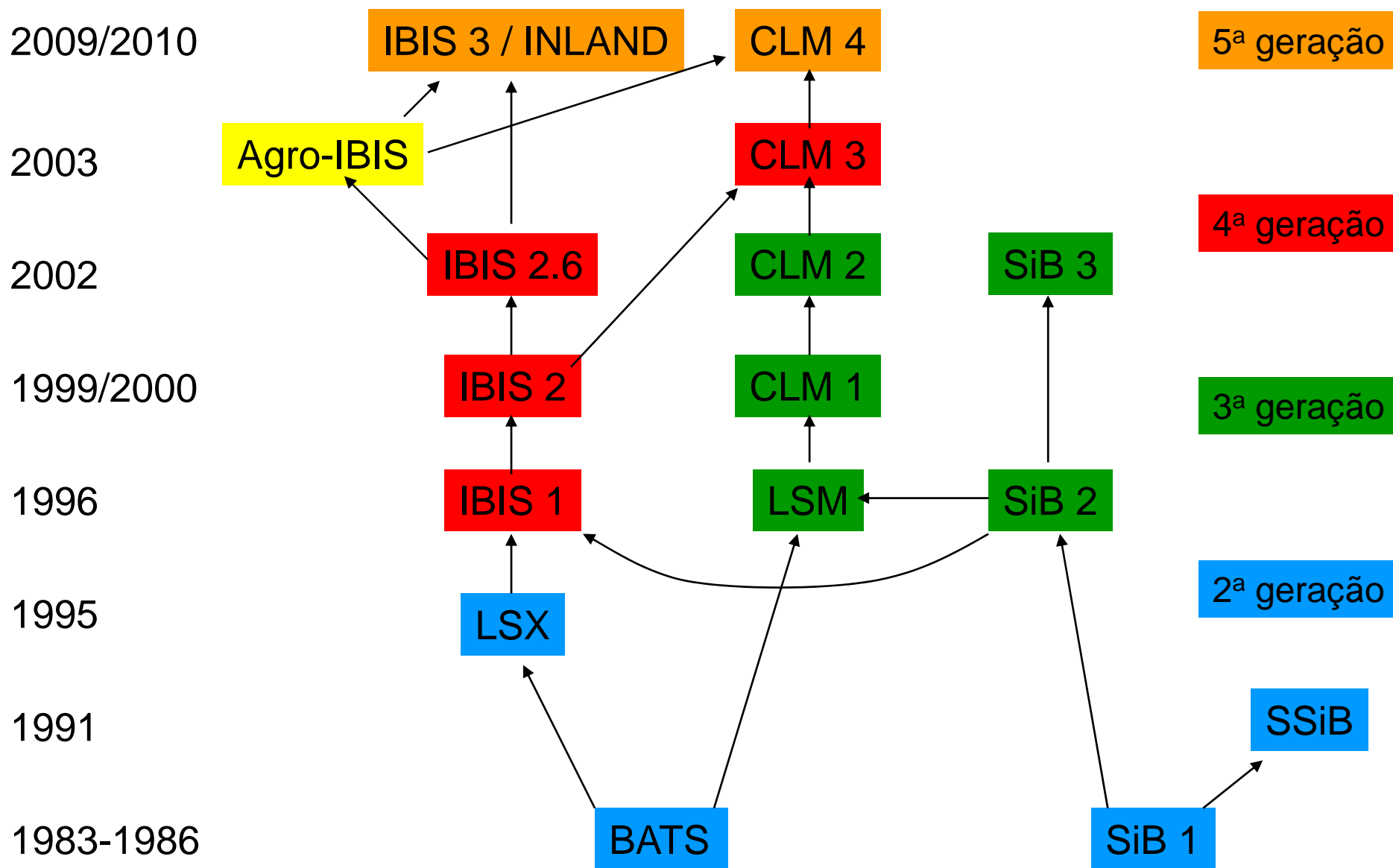
IBIS Structure



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 C⁴MIP

Evolução do IBIS



- Algumas das características do código do IBIS:
 - Estabilidade numérica
 - Otimização numérica
 - Documentação no código
 - Vetorizado
 - Paralelizado
 - Open/MP
 - MPI

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

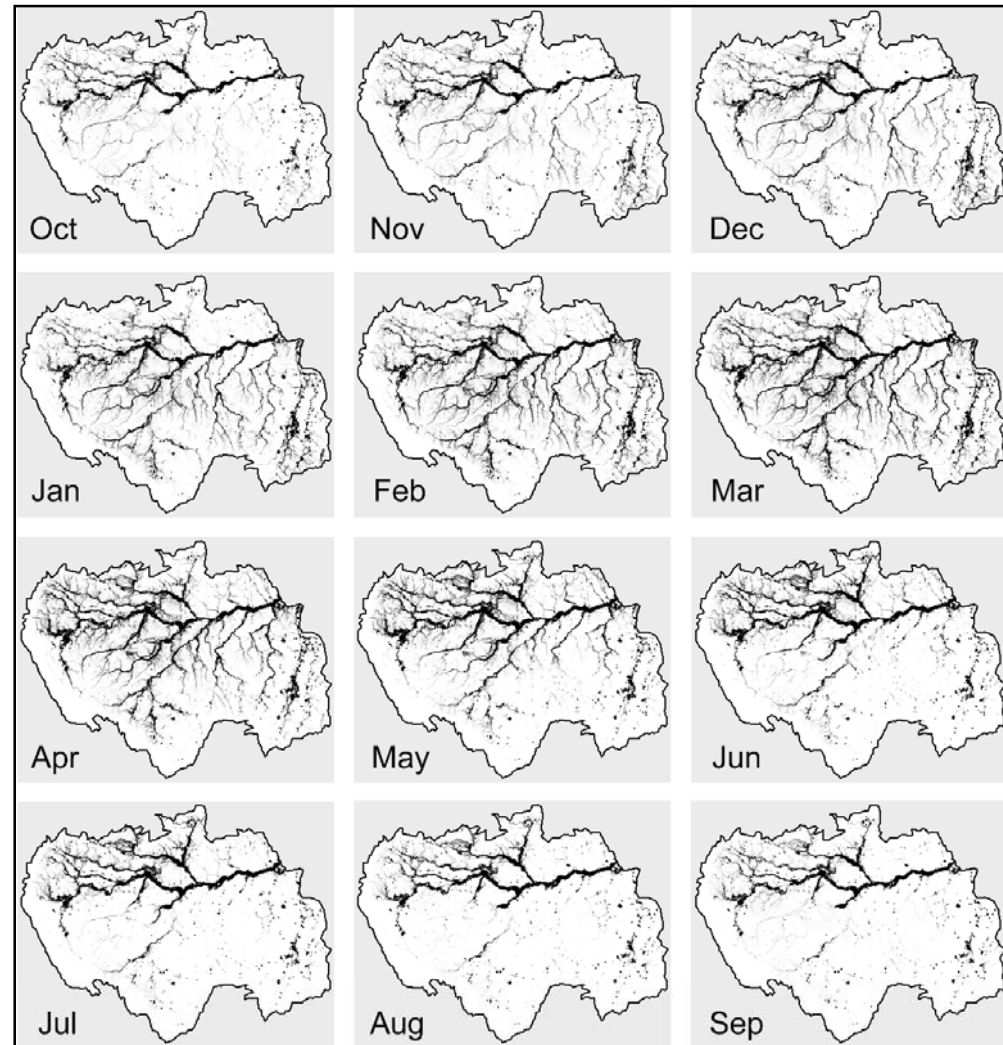
Culturas agrícolas

Ecossistemas agrícolas precisam ser representados de maneira específica

- Globo: 28 M km² pastagens (22% área continental)
15 M km² (12% área continental)
- Brasil: 2,0 M km² pastagens (24% território)
1,2 M km² culturas agrícolas (14% território)
- Culturas agrícolas têm especificidades:
 - Anuais, perenes
 - Época de plantio
 - Parâmetros específicos por espécie
- Necessário o desenvolvimento de bancos de dados associados (área plantada, época de plantio, etc.)
- No futuro, análise de impacto das mudanças globais na produtividade agrícola

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

Vazão e Área Inundada

- Estratégia de modelagem
 - Abordagem global necessária para fechar o ciclo hidrológico
 - Múltiplos modelos para permitir representação mais detalhada de processos em determinadas regiões
 - Conexões futuras com outros processos fluviais

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



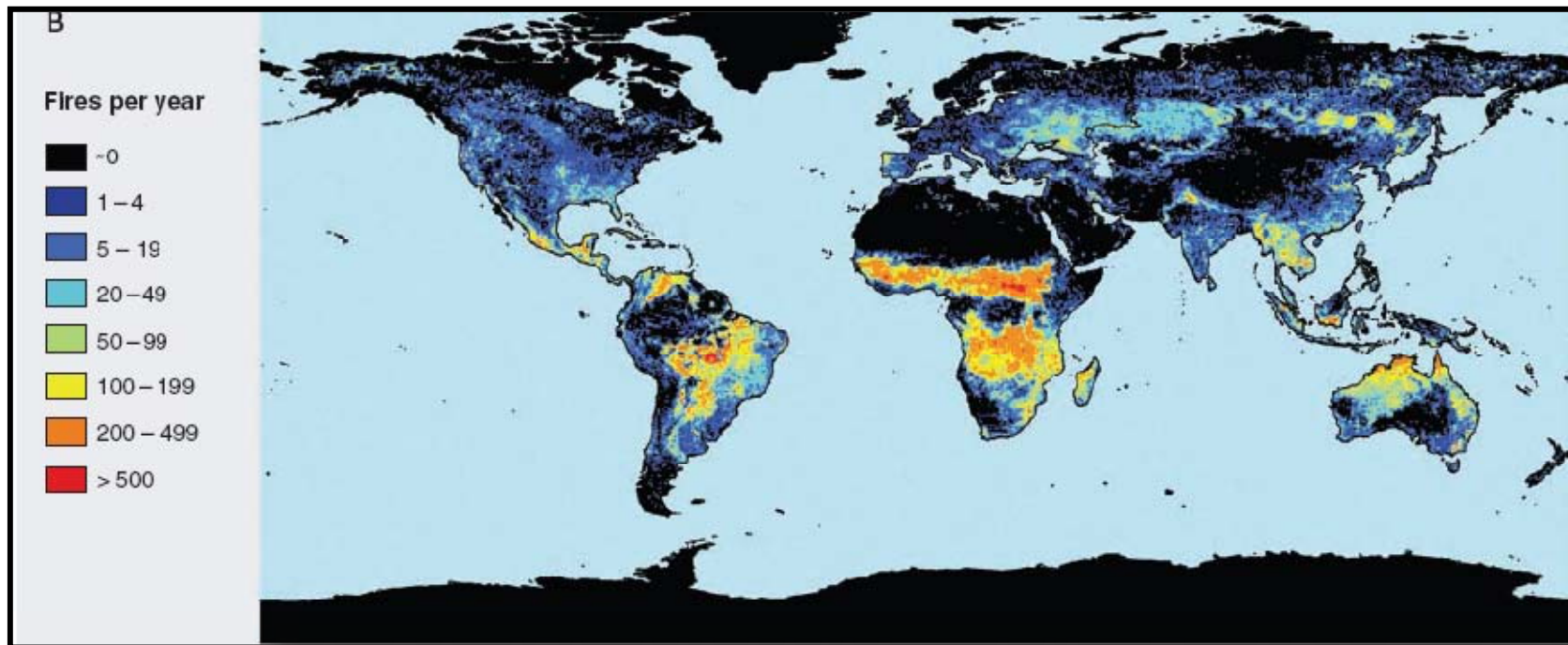
Cerrado Brasileiro



Savana africana

Incêndios

Incêndios são um problema tropical!



Bowman et al. Science 2009

Incêndios

- Incêndios afetam
 - Albedo
 - Estrutura da vegetação (Biomassa, LAI, etc.)
 - Dinâmica da vegetação (mortalidade, abertura de clareiras)
 - Balanço de carbono
 - Emissões de aerossóis e gases traço
 - Fertilidade do solo
 -
- Antropogênicos e naturais
- Módulos:
 - Ignição
 - Combustão
 - Propagação
 - Emissões

Incêndios

- Estratégia integrada
 - Modelagem
 - Múltiplas aproximações
 - Experimentos de campo
 - Fazenda Tanguro, Canarana - MT
 - Financiamento NSF
 - Sensoriamento remoto

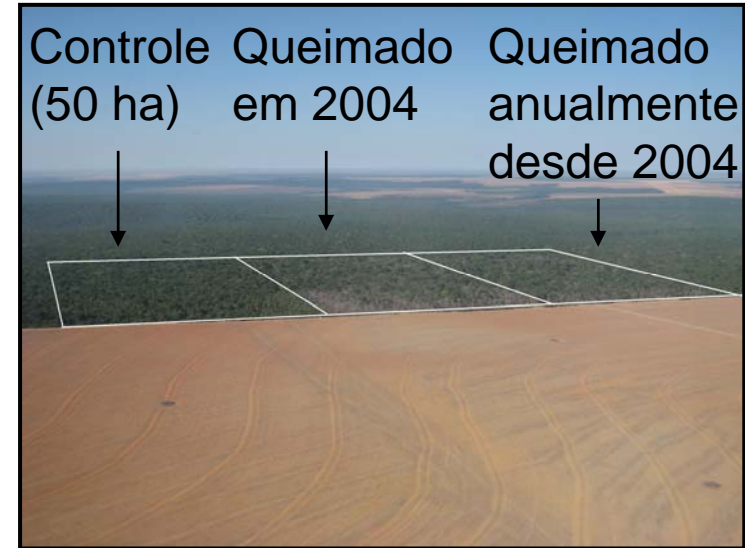
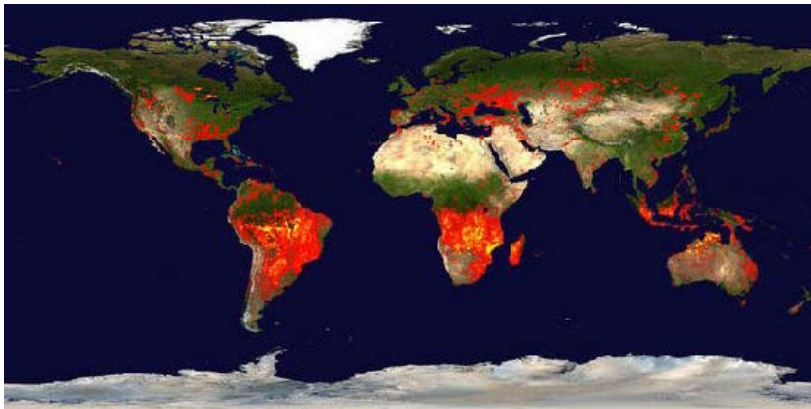


Figura por Paulo Brando



Incêndios globais, setembro 2006 (MODIS)



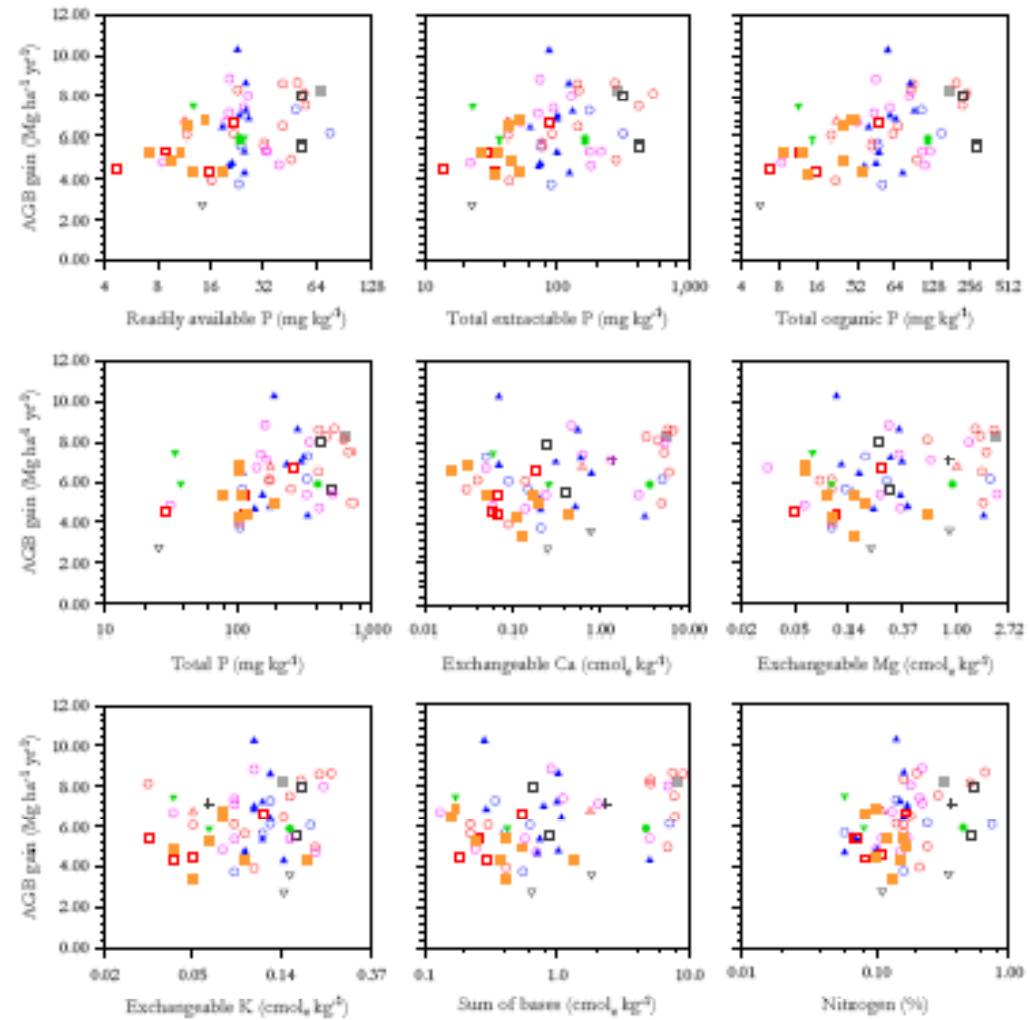
Foto: Jennifer Balch

Uso antropogênico do solo (desmatamento)

- Brasil tem altas taxas de desmatamento
 - 20.000 km² / 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 4^a geração não estão preparados para trabalhar com uso do solo dinâmico
- Será padrão no AR5
- Dados específicos sobre o uso agrícola do solo importante

Ecofisiologia melhorada

- Efeito da fertilidade do solo na produtividade dos ecossistemas

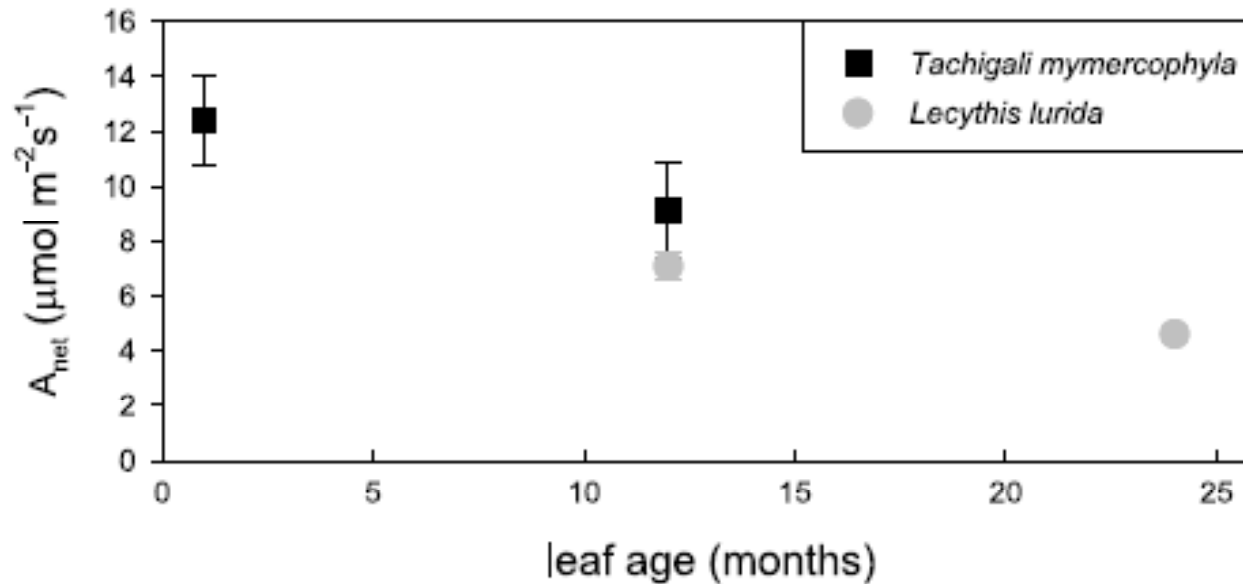


Quesada et al. BGD 2009



Ecofisiologia melhorada

- Efeito da idade da folha na fotossíntese



Doughty & Goulden JGR 2008

Geleiras continentais

- Balanço de neve já incorporado ao modelo
- Necessários testes de longo prazo para acúmulo de neve e construção de geleiras

Calibração

- A calibração de modelos visa ajustar os parâmetros do modelo para melhorar seu desempenho na representação de processos.
- Normalmente é utilizado um procedimento de otimização, onde um conjunto de parâmetros é escolhido de maneira a minimizar uma função objetiva do erro da saída do modelo (desde que existam observações compatíveis).
- Como função objetiva, podem ser usados o erro relativo médio, a raiz do erro quadrado médio, correlação entre os dados observados e simulados, inclinação da reta de regressão dos dados observados em função dos observados, entre outros.

Calibração

- Calibração apropriada será fundamental para o sucesso deste projeto!
- É necessário fazer uso da máxima quantidade de dados disponíveis
- Técnicas clássicas de calibração, que otimizam 1 ou 2 funções-objetivo, não são mais apropriadas
- Necessário o desenvolvimento de novas técnicas de calibração

Calibração multi-objetivo

Otimização mono e multi-objetivo

Espaço de Pareto

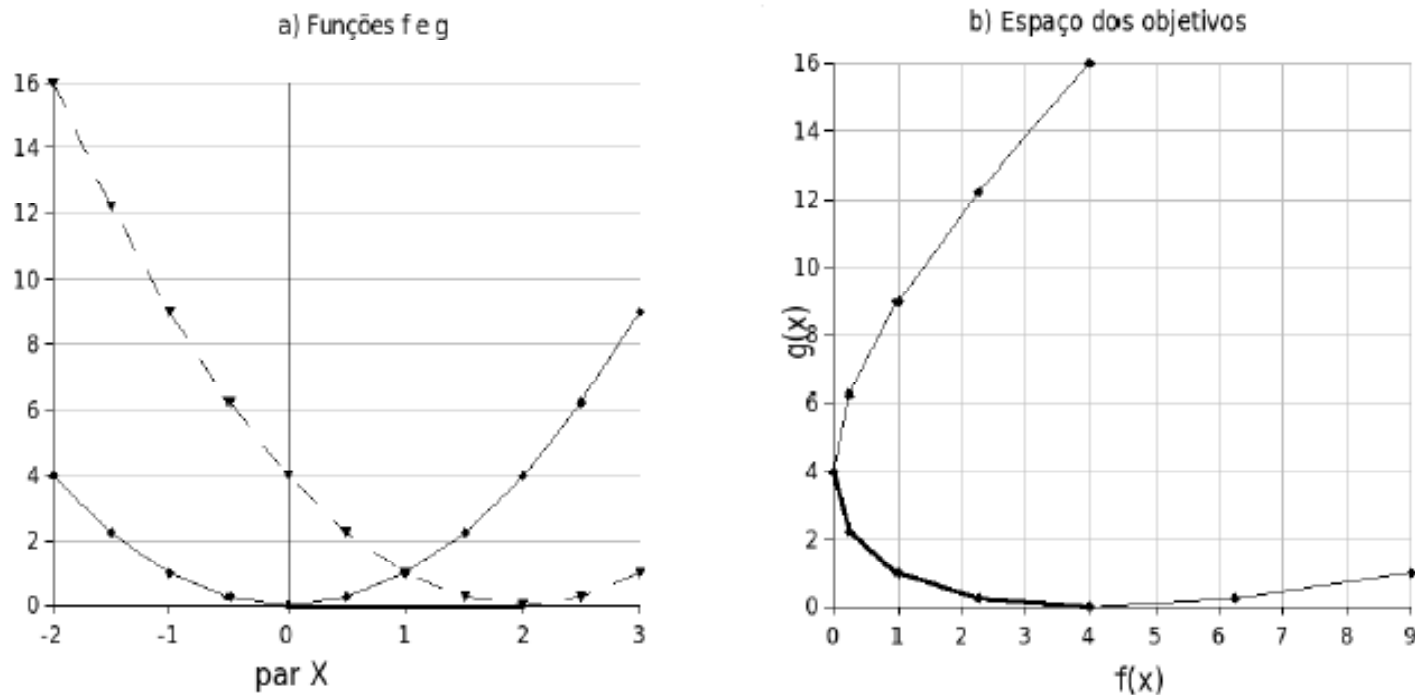


Figura 3: Problema de otimização multiobjetivo: (a) funções objetivos f e g e (b) fronteira de Pareto (linha em negrito) no espaço dos objetivos

Calibração multi-objetivo

Uma possibilidade é escolher a menor distância euclidiana do ponto ideal à curva de Pareto

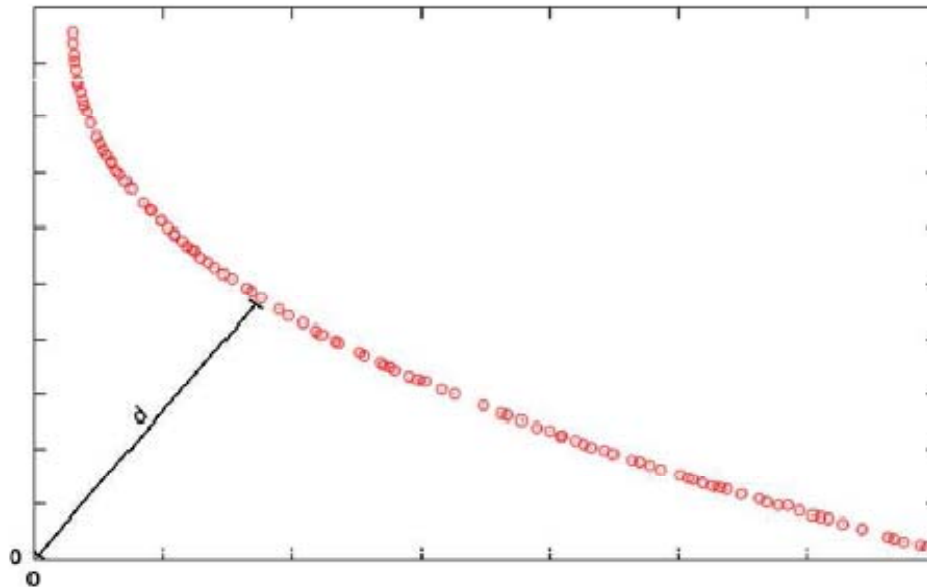


Figura 9: Exemplo da escolha da solução ótima de um problema de otimização com 2 objetivos. Nesta tese, a solução com menor d é considerada a melhor solução.

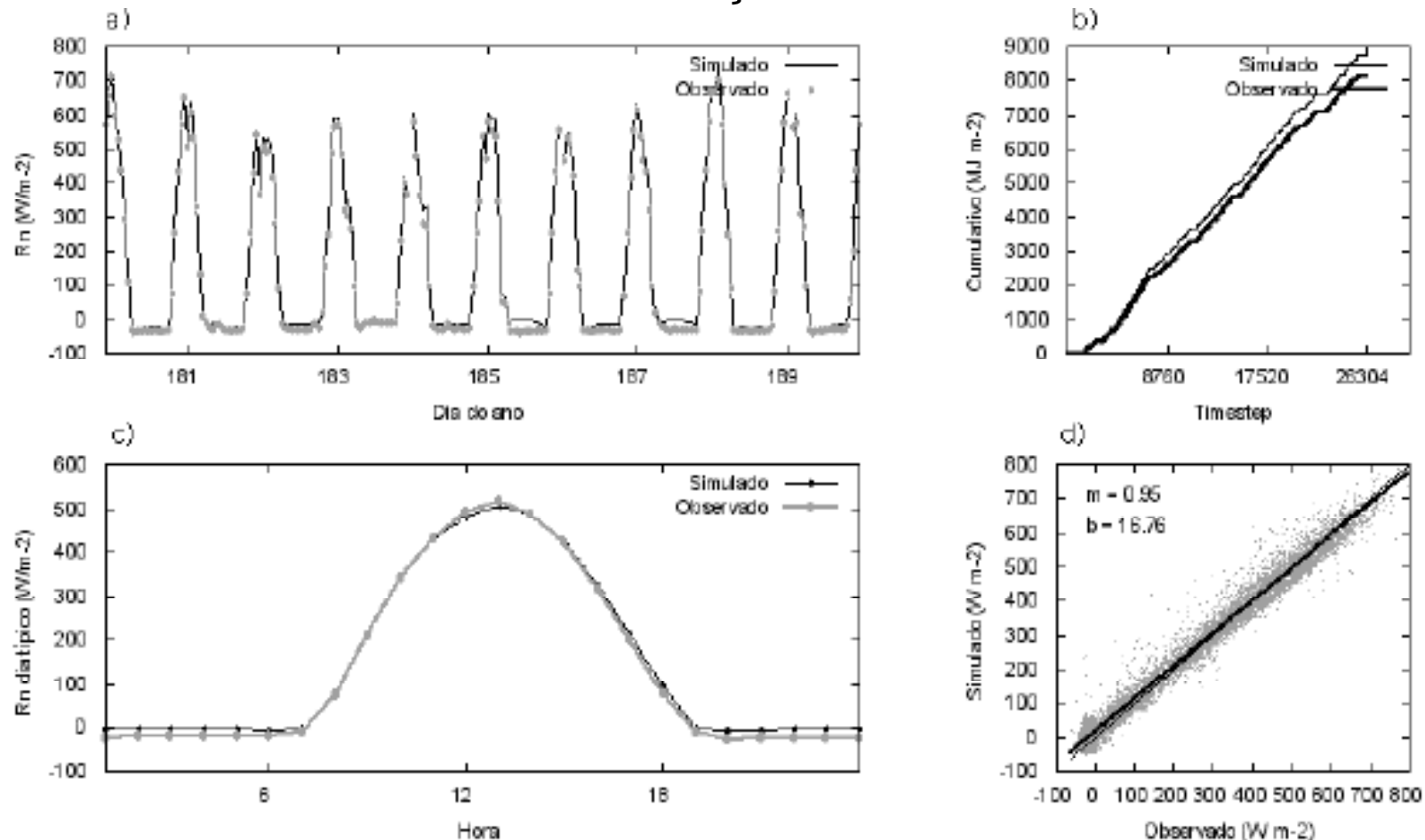
Calibração hierárquica

Tabela 9: Resultados da calibração hierárquica, para o sítio da Flona do Tapajós km 67. Valores de MAE e B_{max} obtidos no procedimento hierárquico multiobjetivo comparados com os respectivos valores de referência.

Variáveis	Hierárquica		Mono-objetivo		Razão	
	MAE*	B_{max} **	MAE*	B_{max} **	MAE	B_{max}
PAR_o $\ast(\frac{\mu mol}{m^2 s})$ $\ast\ast(\frac{mol}{m^2})$	1,115	12,315	1,055	118,812	0,946	0,965
$f_{A PAR}$ (adimensional)	0,017	–	0,009	–	0,529	–
Rn $\ast(\frac{W}{m^2})$ $\ast\ast(\frac{MJ}{m^2})$	21,539	635,761	18,888	524,840	0,877	0,826
u^* ($\frac{m}{s}$)	0,122	–	0,115	–	0,943	–
NEE $\ast(\frac{\mu mol}{m^2 s})$ $\ast\ast(\frac{mol}{m^2})$	4,695	22,651	3,701	10,184	0,788	0,450
H $\ast(\frac{W}{m^2})$ $\ast\ast(\frac{MJ}{m^2})$	40,567	2.172,025	22,463	816,833	0,554	0,376
LE $\ast(\frac{W}{m^2})$ $\ast\ast(\frac{MJ}{m^2})$	36,524	364,327	29,495	239,749	0,808	0,658
NPP ($\frac{kgC}{m^2,ano}$)	0,038	–	0,000	–	0,000	–
LAI ($\frac{m^2}{m^2}$)	0,137	–	0,129	–	0,942	–
D (com NPP)					0,721	
D (sem NPP)					0,801	

Resultados do modelo calibrado hierarquicamente para Flona Tapajós km67

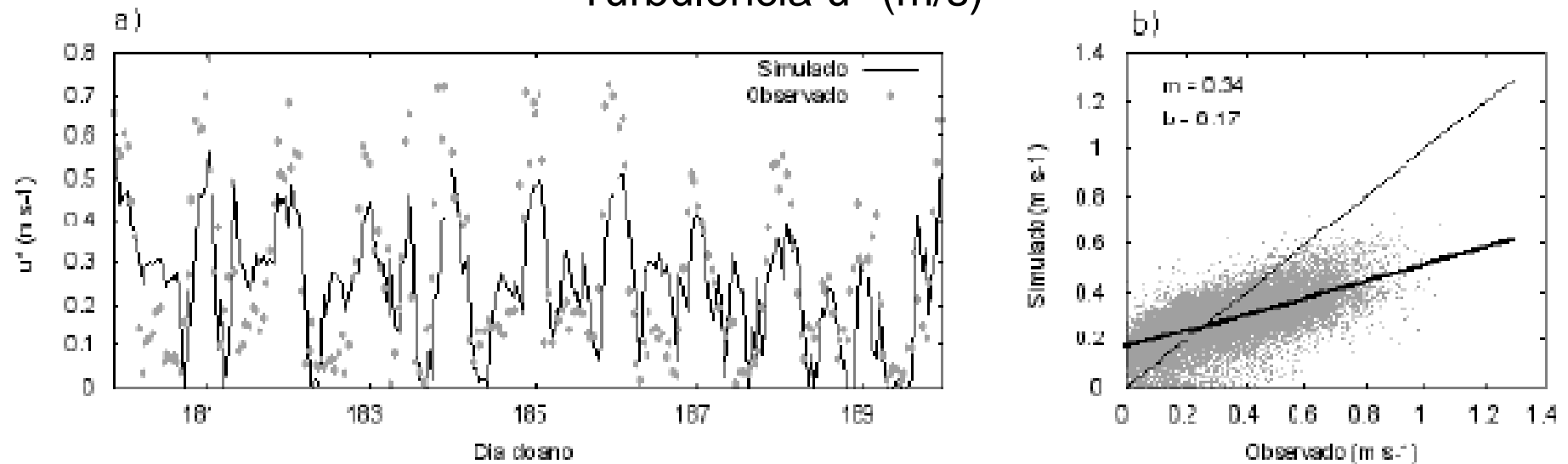
Saldo de Radiação R_n – W/m^2



Tese MS Claudeci Varejão Jr. UFV 2009

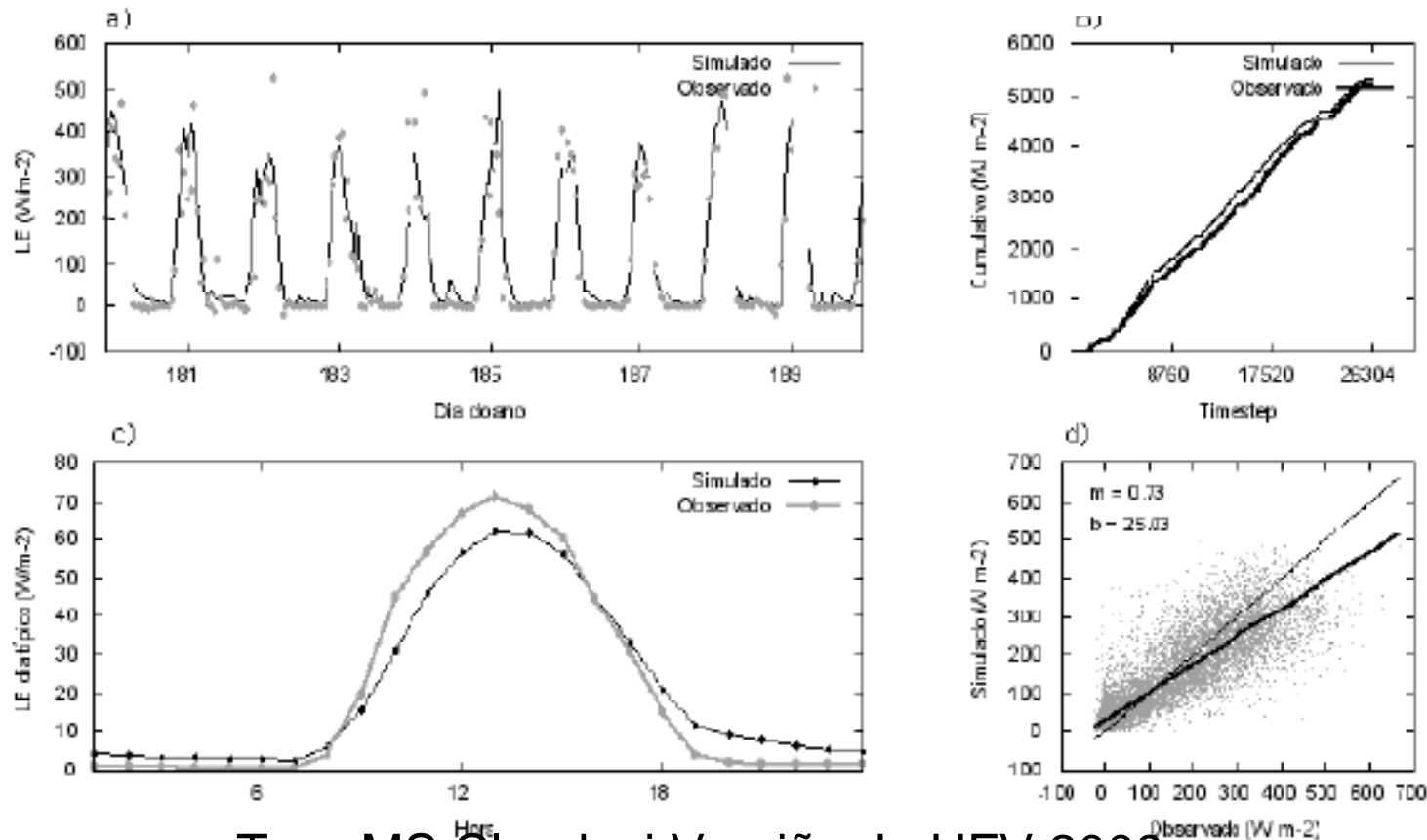
Resultados do modelo calibrado hierarquicamente para Flona Tapajós km67

Turbulência u^* (m/s)



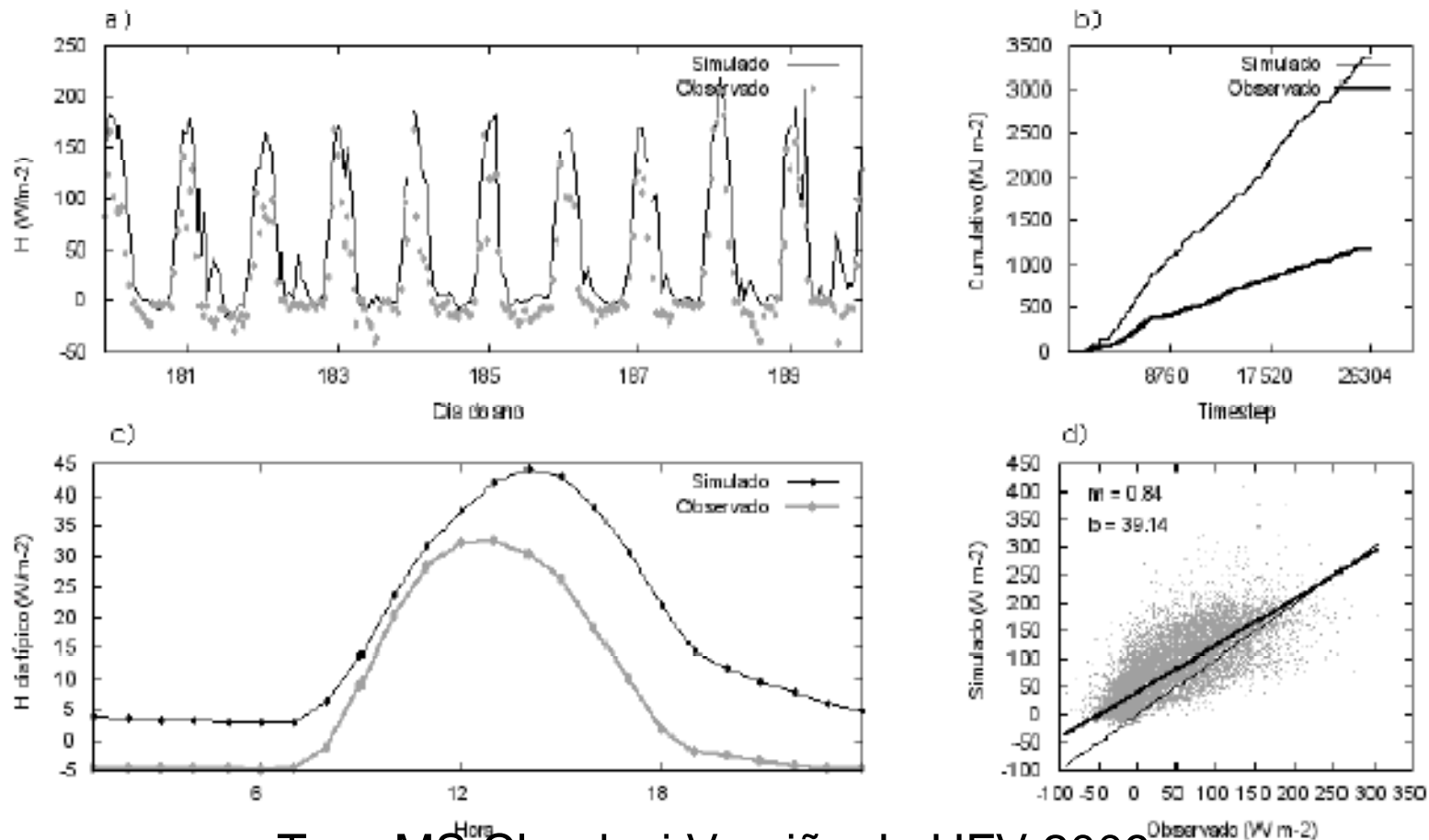
Resultados do modelo calibrado hierarquicamente para Flona Tapajós km67

Fluxo de calor latente LE – W/m²



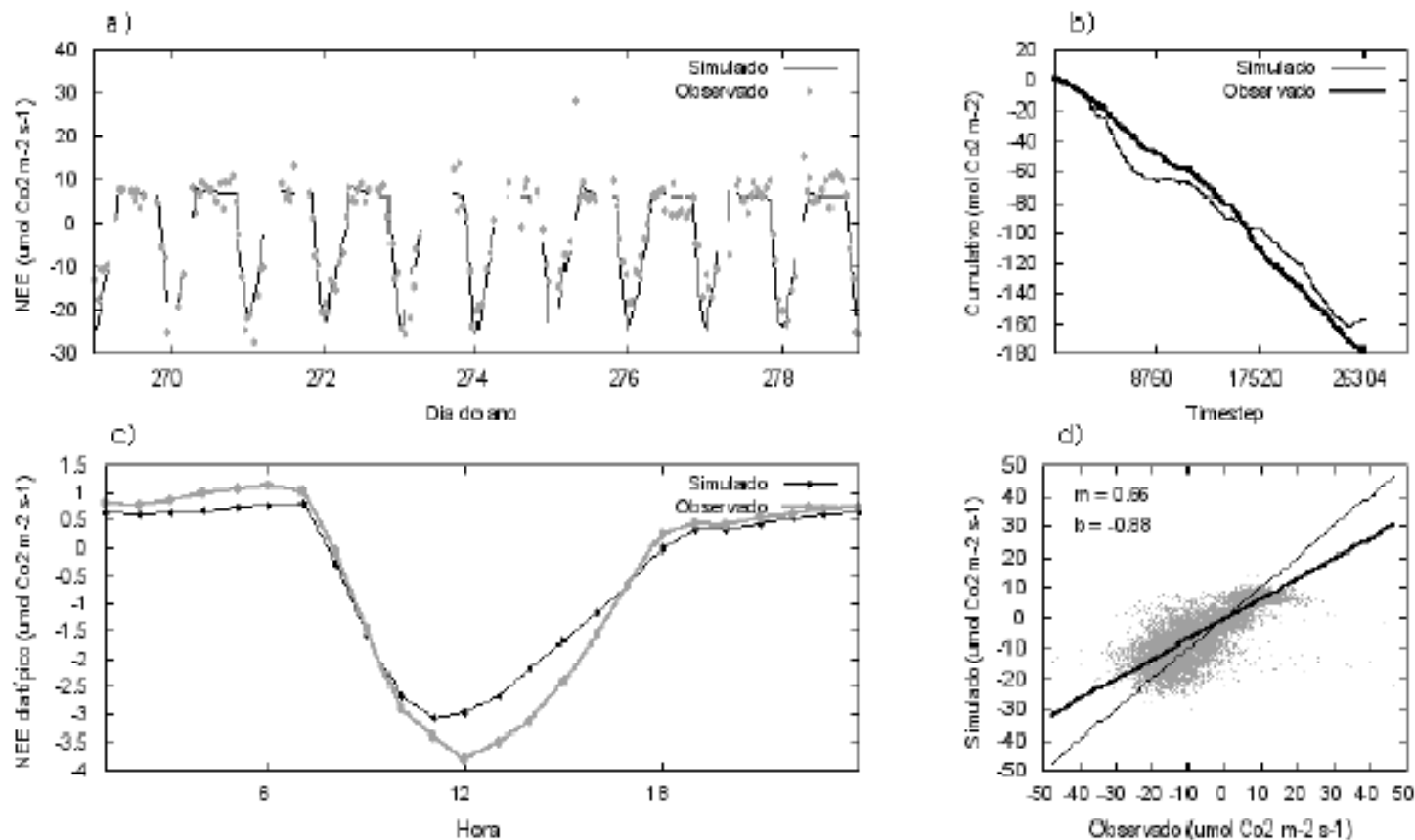
Resultados do modelo calibrado hierarquicamente para Flona Tapajós km67

Fluxo de calor sensível $H - W/m^2$



Resultados do modelo calibrado hierarquicamente para Flona Tapajós km67

Troca líquida do ecossistema NEE – $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$



Calibração: comentário final

- Precisamos de algoritmos de calibração que otimizem n funções-objetivo, e que considerem:
 - As diferentes observações em único sítio
 - Múltiplos sítios
 - Dados espacialmente distribuídos
- Proponho que diversos grupos estudem diferentes estratégias de calibração multi-objetivo

Validação

- A validação está preocupada com a equivalência entre o modelo e a realidade.
- O ideal é usar dados independentes dos usados na calibração para validar o modelo.
- Caso não seja possível, usar na validação um período de dados diferentes do usado na calibração.
- A validação do modelo é necessária para a aplicação do modelo, ou seja, para considerar o modelo útil.

Estratégia de validação



OBJETIVO:

Avaliar a capacidade preditiva de quatro modelos do ecossistema terrestre (IBIS, CLM, ED, JULES) contra um conjunto de medidas de campo, coletados em diferentes escalas temporais e espaciais

Três tipos de avaliações:

1. Contra dados de torres de fluxos
2. Contra dados espacialmente distribuídos
3. Experimentos de distúrbios
 - a. Seca artificial (Tapajós km67, Caxiuanã)
 - b. Fogo (Tanguro)
 - c. Coleta Seletiva (Tapajós km83)



Avaliações:

SÍTIOS EXPERIMENTAIS (total 24):

- LBA – Fluxos → Tapajós k67, Manaus k34, Tapajós k77, Jaru, FNS, BAN e PDG
- RAINFOR – Disponíveis → K34, k67, Caxiuanã (argila, areia, Terra Preta), Tambopata
- RAINFOR – Futuros → Tanguro (controle), Kenia (2 parcelas), Allpahuayo (2 parcelas), Andes (1500 e 3000 m).
- Sítios de Distúrbios → Caxiuanã seca, Tapajós seca, Tanguro fogo, Tapajós k83 logged site

Avaliações:

1. INTERCOMPARAÇÃO DE MODELOS CONTRA DADOS DE TORRES DE FLUXOS:

- Os modelos serão avaliados para diferentes sítios experimentais; (Tapajós k67, k83, k34, k77, JARU, FNS, BAN e PDG)
- Dados de entrada (INPUT) e PROTOCOLO seguindo → **LBA-MIP**.

→ Projeto de Intercomparação de Modelos **LBA-MIP**

→ *Financiamento NASA (Gustavo Gonçalves, PI)*

QUESTIONAMENTOS:

- Com que eficiência os modelos de superfície terrestre podem reproduzir os fluxos de água, energia e CO₂ num ecossistema tropical? (i.e. Amazônia)
- Esses modelos podem representar os padrões sazonais da floresta tropical?
- Como esses modelos poderiam ser melhorados usando o conhecimento adquirido durante o LBA ?





Avaliações:

2. **SIMULAÇÕES REGIONAIS** → (Dados climáticos regionais e dados de sensoriamento remoto). Dois grupos de simulações:
 - Simulações utilizando dados climáticos regionais para 14 sítios experimentais do RAINFOR;
 - Avaliação contra dados ecológicos locais
 - Simulações utilizando dados climáticos regionais e de sensoriamento remoto para toda a região amazônica.
 - Resolução Regional 10 x 10 km ~ 100k pixels;
 - Avaliação contra dados regionais
 - Vazão
 - Biomassa (Saatchi - JERS, Lefsky - GLAS, KellIndorfer - ALOS)
 - Temperatura brilhante do dossel (CERES)

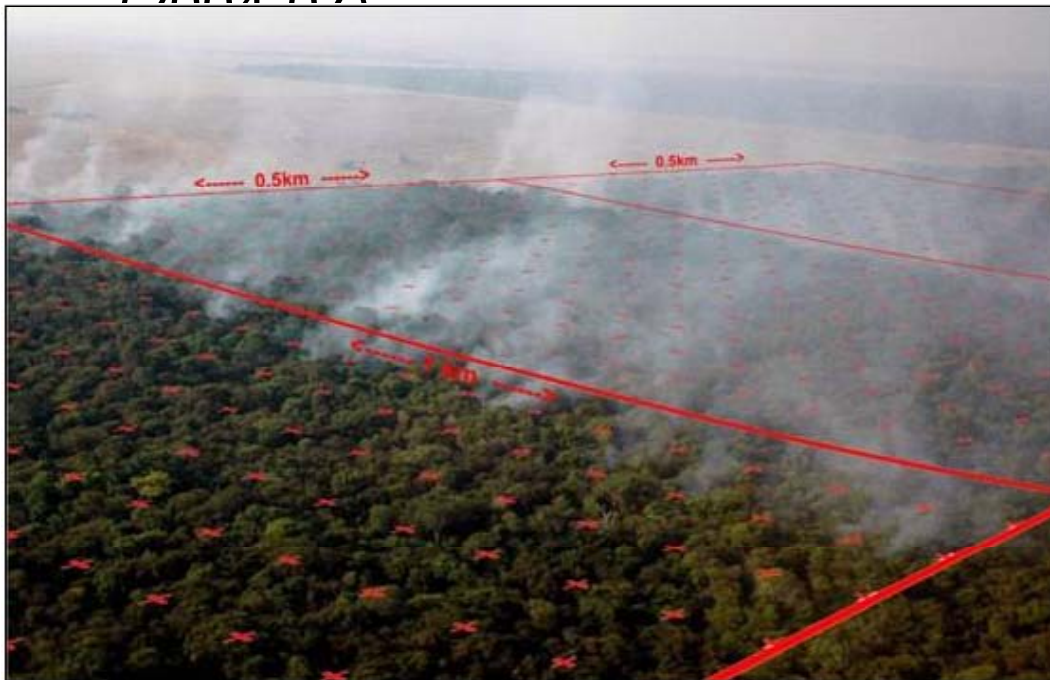
Avaliações:

3. EXPERIMENTOS DE DISTÚRBO

3.1. FOGO:

- Qual a contribuição do fogo no estoque de carbono, na produtividade e no tipo funcional de plantas na floresta?
- Sítio experimental de TANGURO;
- 2 experimentos → Controle vs. Queimado (2004-07)
→ Queimado anualmente vs. Queimado

(2004-07)



Avaliações:

3.2. SECA:

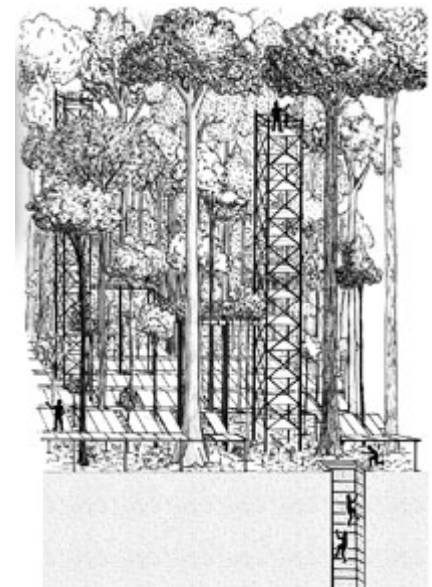
- Sítios experimentais de Caxiuanã (**ESECAFLOR**) e na Floresta Nacional de Tapajós (**Seca Floresta**);
- Induz um período de seca na floresta Amazônica para avaliar o impacto da seca prolongada nos fluxos de água e dióxido de carbono, além de investigar a exclusão de água no solo sobre o ciclo da floresta, algo semelhante à influência de um fenômeno El Niño.



Painéis coletores de água da chuva

Crédito: Paulo Armond Lefebvre

Fonte: [Banco de imagens LBA](#)



Avaliações:

3.3. EXTRAÇÃO SELETIVA:

- Sítio experimental de Santarém km83;
- Inicializar os modelos com os dados do pré tratamento de 2001;
- Depois inicializar com os dados de estrutura de 2002;
- Para finalizar, inicializar os modelos com dados do pós tratamento de 2003.



Fonte: Site Biociência

Validação: comentário final

- A validação do modelo é essencial para a demonstrar a utilidade do modelo
- Experimentos de validação regionais e mesmo globais serão necessários para comprovar o bom funcionamento do modelo
- Devemos incluir outros sítios micrometeorológicos no Brasil além dos sítios do LBA, e tantos dados regionais quanto for possível

Desempenho do modelo a nível global

- Embora seja nossa prioridade que o modelo tenha um desempenho melhor no Brasil, esse é um modelo global, e o modelo também deverá ter um bom desempenho globalmente
- Avaliação do desempenho do modelo a nível global também deverá ser feita
- Isso exigirá a montagem de bases de dados globais
- Podemos seguir os mesmos protocolos usados por centros de modelagem globais, como NCAR e Hadley Center

Estratégia de desenvolvimento

- **Grupo principal**
 - ~30 cientistas / técnicos / estudantes
 - UFV / INPE
 - Desenvolvimento principal e calibração
 - Engenharia de software e documentação
 - Bancos de dados
- **Comunidade Brasileira**
 - Desenvolvimento adicional
 - Calibração adicional
 - Projetos específicos
 - Aplicações
 - Bancos de dados

Organização do projeto

1	COORD	Coordenação, gerência, relatórios, interação com os demais componentes do modelo brasileiro
2	AGRO	Culturas agrícolas, desmatamento antropogênico
3	ECO	Ecologia, ecofisiologia vegetal, dinâmica de vegetação, nova representação de ecossistemas, fertilidade do solo
4	FOGO	Incêndios naturais e antropogênicos
5	HIDRO	Hidrologia superficial e áreas inundadas
6	GELO	Geleiras continentais
7	IMPL	Implementação e engenharia de software (otimização numérica, gerenciamento de memória, documentação e manuais)
8	TESTE	Calibração, validação e testes

Cronograma

Desenvolvimento principal e documentação inicial

Ano 1

Desenvolvimento adicional, calibração e testes principais, otimização numérica, acoplamento ao modelo do sistema climático, documentação final

Anos 2 e 3

Aplicações

Ano 4

Cronograma

- Workshops deste grupo a cada semestre
 - Cachoeira Paulista em julho
 - Viçosa em fevereiro
- Workshop do modelo do sistema climático brasileiro uma vez por ano
- Apresentação do modelo na AGU meeting of the Americas 2010
 - Foz do Iguaçu, Agosto 2010

Programa de treinamento

- Curso online está sendo preparado fornecendo toda a base necessária ao uso do IBIS
 - Linux
 - Programação em Fortran
 - Visualização de dados científicos
 - Interação atmosfera-biosfera usando o IBIS

Documentação

- Serão preparados três manuais:
 - Manual do usuário
 - Manual técnico
 - Manual do desenvolvedor

Home page do projeto

www.biosfera.dea.ufv.br

clique em Softwares e depois em Inland