

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA  
LÍQUIDA EM MODELOS DE SUPERFÍCIE PARA  
SÍTIOS SUL-AMERICANOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Marcos Corrêa Silveira**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

# **VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA EM MODELOS DE SUPERFÍCIE PARA SÍTIOS SUL- AMERICANOS**

**Marcos Corrêa Silveira**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Área de Concentração em Micrometeorologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obter o grau de  
**Mestre em Meteorologia.**

**Orientadora: Profa. Dra. Débora Regina Roberti**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2013**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Naturais e Exatas  
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia**


A comissão examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA BRUTA EM  
MODELOS DE SUPERFÍCIE PARA SÍTIOS SUL-AMERICANOS**

elaborada por  
**Marcos Corrêa Silveira**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Meteorologia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
**Débora Regina Roberti, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Orientadora)

  
**Ana Maria Heuminski de Ávila, Dra. (UNICAMP)**

  
**Virnei Silva Moreira, Dr (UNIPAMPA)**

Santa Maria, 14 de março de 2013

*Dedico esse trabalho aos meus pais, que foram minha maior inspiração para chegar até aqui*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, tios, primos, ao meu irmão Mateus e meus pais Mariano e Mirian, que sempre me deram apoio, amor e força pra seguir em frente, e que acreditaram em mim acima de tudo.

Aos meus amigos que ficaram ao meu lado nas horas difíceis, me dando coragem e não me permitindo desistir jamais.

Aos meus professores e colegas que contribuíram para meu crescimento como meteorologista e expandiram meus conhecimentos, nutrindo minha curiosidade de aprender.

A minha doutora Stela Maria Mota, que me ajudou com meu problema de saúde com competência e carinho.

À minha orientadora, Débora Regina Roberti, que fez muito mais do que a sua obrigação como orientadora para me ajudar com o trabalho, e mostrou paciência e dedicação como nenhuma outra pessoa.

Ao programa de pós-graduação em meteorologia da UFSM por ter me dado a oportunidade de desenvolver esse trabalho.

Aos cientistas que coletaram as observações das torres durante as campanhas de campo dentro do projeto LBA, financiado pela NASA, pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e por instituições europeias.

Ao projeto LBA-DMIP financiado pelo Programa de Ecologia Terrestre (Terrestrial Ecology Program) da NASA (concessão NNX09AL52G), que forneceu a base de dados dos sítios.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia  
Universidade Federal de Santa Maria

### VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA EM MODELOS DE SUPERFÍCIE PARA SÍTIOS SUL-AMERICANOS

AUTOR: MARCOS CORRÊA SILVEIRA  
ORIENTADORA: DÉBORA REGINA ROBERTI  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 14 de março de 2013

Este estudo analisa simulações de Produção Primária Líquida (NPP) de 15 diferentes modelos de superfície (LSMs) e reservatórios de biomassa de 6 diferentes LSMs usando condições meteorológicas medidas em 8 sítios do projeto Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA) como forçantes. Os modelos não foram calibrados para os sítios. Os sítios foram divididos em quatro tipos de biomas: Florestas de Folhas Largas Sempre-Verdes (4 sítios); Florestas de Folhas Largas Decídua (1 sítio); Savana (cerrado, 1 sítio); Pasto/Agricultura (2 sítios). Os ciclos de NPP médios diários, mensais e anuais foram intercomparados e avaliados. Existem diferenças consideráveis entre as simulações de NPP, e algumas destas diferenças alcançaram até duas ordens de magnitude em valores noturnos. Pôde ser observada sazonalidade de NPP em alguns modelos para todos os tipos de bioma. O NPP médio anual simulado em duas Florestas Sempre-Verdes (sítios K34 e K67) foi comparado com as observações. Em geral, as simulações da maior parte dos modelos não representam muito bem as observações; entretanto, o valor médio de todas as simulações consegue representar os dados observados. Em geral, modelos que representam a vegetação dinâmica, fluxos de carbono e ciclo do nitrogênio (DVN) foram aqueles que melhor representaram os valores observados, sugerindo que uma descrição mais específica da dinâmica da vegetação pode capturar, mesmo sem calibração, as trocas de carbono com suficiente precisão. A biomassa simulada é também divergente entre os modelos, embora a distribuição dessa biomassa segue os padrões esperados para cada tipo de bioma. Logo, acreditamos que uma calibração do modelo pode melhorar os resultados das simulações.

**Palavras-chave:** Biomassa de carbono, NPP, Modelos de superfície, LBA, LBA-DMIP

## **ABSTRACT**

Masters Dissertation  
Meteorology Post-Graduation Program  
Universidade Federal de Santa Maria

### **VARIABILITY IN ESTIMATED NET PRIMARY PRODUCTION FROM LAND SURFACE MODELS FOR SOUTH AMERICAN SITES**

**AUTHOR: MARCOS CORRÊA SILVEIRA**  
**ADVISOR: DÉBORA REGINA ROBERTI**  
Defense Local and Date: Santa Maria, March 14, 2013

This study analyzes simulations of Net Primary Production (NPP) from 15 different land-surface models (LSMs) and biomass pools from 6 different LSMs using meteorological conditions measured at 8 sites from Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA) project as drivers. The models were not calibrated for the sites. The sites are divided into four biome types: Evergreen Broadleaf Forests (4 sites); Deciduous Broadleaf Forest (1 site); Savanna (1 site); Pasture/Agriculture (2 sites). The mean daily cycles, monthly and annual means of NPP were intercompared and evaluated. There were considerable differences among the NPP simulations, and some of these differences reached up to two orders of magnitude in nocturnal values. Seasonality in dry periods of the NPP could be observed in some models for all biome types. The annual mean NPP simulations from two Evergreen Broadleaf Forests (K34 and K67 sites) were compared with the observations. In general, the simulations by most models do not represent very well the observations; however, the mean value from all simulations is able to represent the observed data. In general, models that represented the Dynamic Vegetation Carbon Fluxes and Nitrogen Cycling Models (DVN) were those that better represented the observed values, suggesting that a more specific description of the vegetation dynamics capture, even without calibration, the carbon exchanges with enough accuracy. The simulated biomass is also divergent between the models, although the distribution of that biomass follows the expected patterns for each biome type. Therefore, we believe that a model calibration can improve the simulations results.

**Keywords:** Carbon biomass, NPP, Land Surface Models, LBA, LBA-DMIP

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa dos sítios experimentais do LBA usados nesse trabalho. Adaptado de: de Gonçalves et al., 2012.....	14
Figura 2 – Condições meteorológicas dos sítios do LBA-DMIP no período do experimento.	21
Figura 3 – Ciclos diários médios de radiação de onda curta, radiação de onda longa e temperatura do ar, medidos em cada sítio. ....	22
Figura 4 – Precipitação mensal nos sítios K43, K67, K83 e RJA.....	23
Figura 5 – Precipitação mensal nos sítios BAN, PDG, K77 e FNS.....	24
Figura 6 – Ciclos diários médios mensais do NPP para cada simulação de modelo nos sítios K34, K67, K83 e RJA. O período seco é a parte destacada pela área iluminada em cada gráfico.....	25
Figura 7 – Ciclos diários médios mensais do NPP para cada simulação de modelo nos sítios BAN, PDG, FNS e K77. O período seco é a parte destacada pela área iluminada em cada gráfico.....	26
Figura 8 – NPP médio diário para cada simulação de modelo nos sítios K34, K67, K83 e RJA. O período seco é a parte destacada pela área iluminada em cada gráfico.....	27
Figura 9 - NPP médio diário para cada simulação de modelo nos sítios BAN, PDG, FNS e K77. O período seco é a parte destacada pela área iluminada em cada gráfico.....	29
Figura 10 – GPP simulado anual, respiração autotrófica, CUE e NPP, com valores observados para os sítios K34 e K67. Autotrophic respiration é a respiração autotrófica.....	36
Figura 11 – Componentes dos reservatórios de biomassa para diferentes modelos em cada sítio. Wood biomass é a biomassa de madeira, root biomass é a biomassa das raízes, leaf biomass é a biomassa das folhas e total biomass é a biomassa total.....	38



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrições dos sítios do LBA.....	13
Tabela 2 – Tipo de bioma e período seco típico para cada sítio do LBA.....	17
Tabela 3 – Nomes dos diferentes reservatórios de carbono para seis modelos do LBA-DMIP. As principais componentes dos reservatórios de biomassa são representadas pela mesma forma de linhas hachuradas: biomassa de Madeira: linhas verticais; biomassa de raízes: linhas horizontais; biomassa de folhas: linhas diagonais.....	18
Tabela 4 – NPP integrado anual com desvio padrão para cada modelo do LBA-DMIP em cada sítio do LBA. A média de todos os modelos (ENS) com seu respectivo desvio padrão também é incluída. Os valores observados (OBS) são reportados por Malhi et al. (2009). Para os sítios K34 e K67.....	34
Tabela 5 – Biomassa total ( $\text{KgCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ) estimada por modelos e resultados de medições.....	39

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 METODOLOGIA.....	13
2.1 Sítios Experimentais do LBA.....	13
2.2 Data and LBA-DMIP Models .....	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
3.1 Condições Ambientais:.....	20
3.2 Médias e Ciclos Diários de NPP .....	24
3.2.1 NPP – Ciclo Diário e Média Mensal .....	24
3.2.2 Florestas Sempre-verdes de Folhas-largas .....	25
3.2.2.1 Modelos de Vegetação Dinâmica, Fluxos de Carbono e Ciclos de Nitrogênio (IBIS, CN-CLASS, ISAM e ED2) .....	25
3.2.2.2 Modelos de Vegetação Dinâmica e Fluxos de Carbono (JULES, Noah-MP, ORCHIDEE, LPJ-WSL e CLM3.5-DGVM).....	27
3.2.2.3 Modelos de Vegetação Estática (SiB2, SiB2 (modificado), SiB3, SiBCASA, SSiB2, e BIOME-BGC) .....	28
3.2.3 Florestas Decíduas de Folhas-largas.....	29
3.2.4 Savana.....	30
3.2.5 Pasto/Agricultura.....	31
3.2.5.1 Modelos de Vegetação Dinâmica, Fluxos de Carbono e Ciclos de Nitrogênio .....	31
3.2.5.2 Modelos de Vegetação Dinâmica e Fluxos de Carbono.....	32
3.2.5.3 Modelos de Vegetação Estática.....	32
3.3 NPP – Integração Anual .....	33
3.4 GPP e CUE.....	35
3.5 Reservatórios de Carbono.....	37

# 1 INTRODUÇÃO

A Produção Primária Líquida (sigla usualmente em inglês, NPP) é uma componente chave do balanço de carbono em um ecossistema. Definido como a quantidade de matéria fotossintética não usada para respiração, ela é o carbono usado para produção de biomassa na planta (Malhi et al., 2001, Chapin et al., 2006). O NPP de uma planta pode indicar a quantidade de matéria orgânica disponível para diferentes níveis tróficos, a magnitude e taxa de substituição do carbono no ecossistema, assim como indicar uma resposta do ecossistema a mudanças no ambiente (Smith et al., 2010). O NPP é uma função da produção primária bruta (sigla usualmente em inglês, GPP), que é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) absorvido pela planta na fotossíntese, e da respiração autotrófica, que é o total de carbono emitido durante a respiração das plantas. O GPP não usado para respiração é o NPP total de uma planta, ou seja, o carbono alocado na planta. Essas variáveis são importantes para determinar a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pelo ecossistema e estão ligadas umas às outras através de suas definições.

NPP é alocado nas plantas em diferentes reservatórios (por exemplo, caule, folhas e raízes). Uma medição precisa da alocação de carbono é importante para entender os fluxos de carbono dentro dos ecossistemas. No entanto, essas medidas são um desafio dadas as incertezas inerentes nos métodos de medição atuais (Malhi et al., 2006, Malhi et al., 2009, Malhi et al., 2011). Desta forma a modelagem torna-se uma ferramenta essencial para tais estudos

Para a simulação destes processos, Modelos de Superfície (MS) são comumente usados. Esses modelos que simulam as trocas de carbono, energia, massa e momentum entre a biosfera e a atmosfera. Neles, a biomassa de carbono nas plantas pode crescer ou decrescer dependendo da magnitude do NPP, e sua alocação em diferentes partes da planta. Então, se a biomassa de carbono em certo reservatório de biomassa está aumentando, significa que a planta está absorvendo mais carbono do que perdendo, e logo a planta está se desenvolvendo e crescendo.

A floresta amazônica é um reservatório de carbono substancial e tem um papel vital no sistema climático global. Os fluxos de carbono sobre a floresta amazônica têm mudado devido às mudanças e variabilidade climáticas, entre outros fatores (Botta et al., 2002, Ramankutty et al., 2007). Esta floresta em particular é muito importante para os fluxos de

carbono globais (Houghton et al., 2001, Malhi and Grace, 2000). O projeto de intercomparação de modelos LBA-DMIP (Large Scale Biosphere Atmosphere – Data Model Intercomparison Project) é um projeto de intercomparação de modelos de superfície, o qual usa dados experimentais dos sítios do projeto LBA (Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia) e fornece uma série de dados de simulações de diferentes modelos. Os modelos participantes não fazem nenhum tipo de calibração com dados observacionais (Gonçalves et al., 2012). Nesse estudo, a análise do NPP é expandida em ciclos diários médios mensais para representar fontes que possam induzir erros no NPP dos modelos e assim interferir na alocação de carbono e biomassa.

O objetivo deste estudo é comparar os resultados do NPP e reservatórios de biomassa dos modelos do LBA-DMIP a fim de determinar a variabilidade entre estes, e comparar tais resultados com dados observacionais disponíveis em Malhi et al., 2009. As simulações de quinze modelos para NPP, e de seis destes para os reservatórios de biomassa são analisados. Essa intercomparação dos ciclos diários médios, médias mensais e anuais do NPP e biomassa de carbono anual são analisadas para quatro sítios de floresta de folhas-largas sempre-verdes, uma floresta de folhas-largas decídua, um sítio de savana (cerrado) e dois sítios de pasto/agricultura. No capítulo 2, é apresentada a metodologia do trabalho, discutindo os sítios do LBA e os modelos do LBA-DMIP. No capítulo 3, os resultados do NPP dos modelos, suas diferentes médias, ciclos, e a biomassa de carbono são comparados entre si e com as observações. Finalmente, no capítulo 4 são apresentadas as conclusões deste estudo.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Sítios Experimentais do LBA

Os sítios experimentais do LBA estão espalhados sobre a Amazônia. O sítio PDG é uma exceção, uma vez que está localizado mais ao sul, no estado de São Paulo, para propósitos de comparação. Os nomes e abreviações dos sítios, junto com sua localização geográfica e alturas do dossel são mostrados na Tabela 1

Tabela 1 – Descrições dos sítios do LBA

Sítio	Latitude	Longitude	Tipo de bioma	Anos	Dossel (alt.)
BAN – Ilha de Bananal	-09.8°	-50.2°	Floresta tropical	2004-2006	16m
FNS - Fazenda Nossa Senhora	-10.8°	-62.4°	Pasto/Agricultura	1999-2001	0,2 to 0,5m
K34 - Manaus km 34	-02.6°	-60.2°	Floresta tropical	2002-2005	35m
K67 - Santarém km 67	-02.9°	-54.9°	Floresta tropical	2002-2004	35m
K77 - Santarém km 77	-03.0°	-54.9°	Pasto/Agricultura	2001-2005	0 to 0,6m
K83 - Santarém km 83	-03.0°	-55.0°	Floresta tropical	2001-2003	35m
PDG - Reserva Pé-de-Gigante	-21.0°	-47.6°	Savana	2001-2003	12m
RJA - Reserva de Jarú	-10.1°	-61.9°	Floresta tropical	2000-2002	30m

A descrição dos modelos e a caracterização da vegetação em cada sítio do LBA são apresentadas a seguir. Na Figura 1, é mostrado um mapa do Brasil (exceto região sul) com a localização dos sítios do LBA marcada. Os sítios possuem estações secas, que definem seu regime de precipitação (Gonçalves et al., 2012).

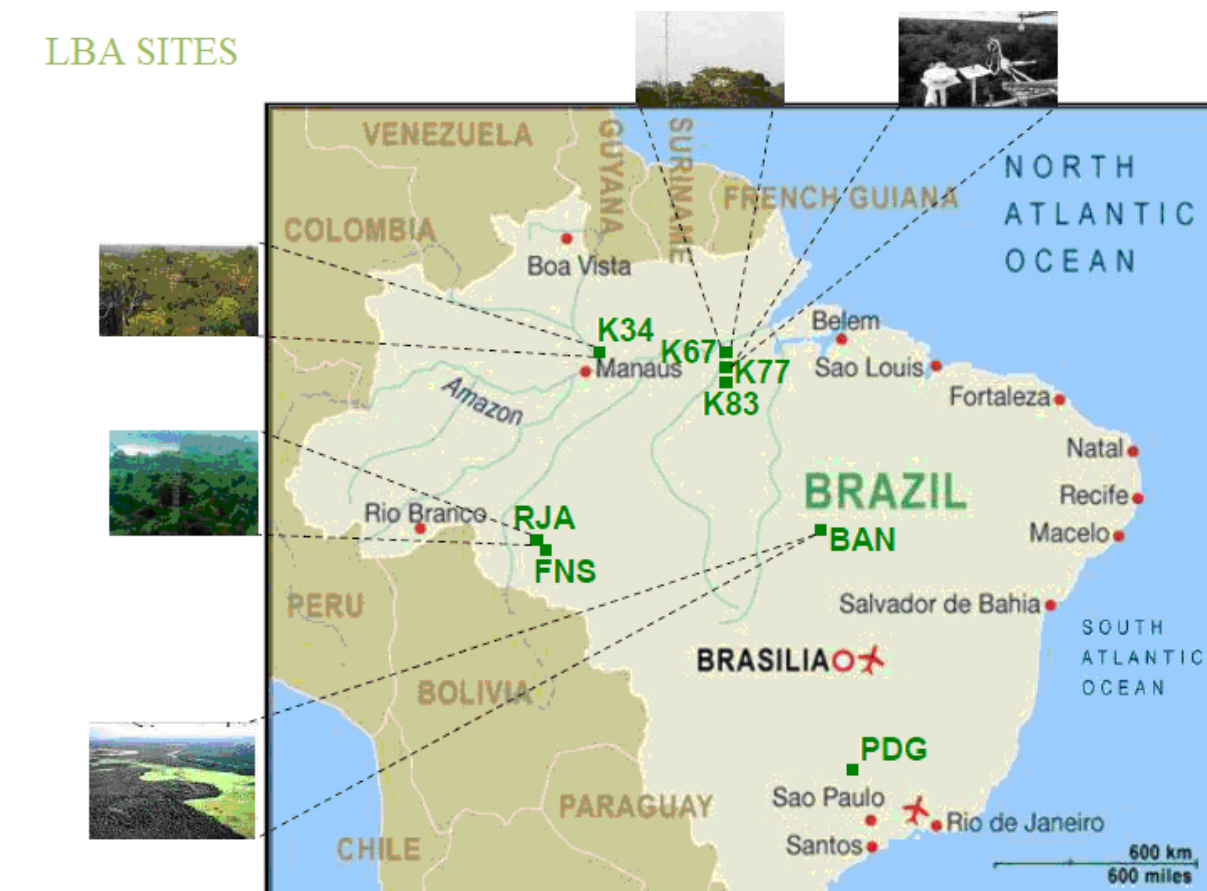


Figura 1 – Mapa dos sítios experimentais do LBA usados nesse trabalho. Adaptado de: de Gonçalves et al., 2012.

O sítio Manaus km 34 é localizado em 2.6°S, 60.2°O, a 130m de altura acima do nível do mar. É conhecido por ter uma estação seca mais curta comparada com os sítios de Santarém, e por ter um menor desmatamento comparado com Rondônia e Ji-Paraná. Por causa de sua localização, não há influência direta do oceano no clima local (Araújo et al., 2001). A vegetação nesse sítio é considerada do tipo floresta tropical de folhas largas sempre-verde.

Existem três sítios localizados na cidade de Santarém. O primeiro está localizado na floresta Nacional de Tapajós próximo ao km 67 da estrada Santarém-Cuiabá (K67), nas coordenadas 2.9°S, 54,9°O. A torre está localizada a 6 km a leste do Rio Tapajós, e tem uma vegetação de floresta sempre-verde de folhas-largas (Hutyra et al., 2007).

Próxima a ela, na cidade de Belterra, em 3.0°S, 54.9°O, existe outro sítio localizado nas proximidades do km 77 da mesma auto-estrada (K77). Esse sítio está 25 km distante do Rio Tapajós, e sua cobertura de vegetação é pasto/agricultura (Sakai et al., 2004).

A última torre de fluxo do LBA em Santarém é K83, nas coordenadas 3.0°S, 55.0°O, no km 83 da auto-estrada supracitada. A vegetação é considerada como uma floresta tropical

sempre-verde de folhas-largas. A floresta foi explorada seletivamente em setembro de 2001 (da Rocha et al., 2004).

Na Ilha do Bananal (BAN), no estado do Tocantins, existe outra torre de fluxo do LBA em 09.8°S, 50.2°O. É uma floresta tropical decídua de folhas largas, a qual sofre um alagamento sazonal e possui uma estação seca de cinco meses (Borma et al., 2009).

No estado de São Paulo, na cidade de Santa Rita do Passa Quatro, localidade mais ao sul dentre os sítios usados nesse estudo (21.0°S, 47.6°O), está localizado o sítio Reserva Pé-de-Gigante (PDG). Sua cobertura de vegetação é o cerrado, uma espécie de savana característica do Brasil, e fora da bacia amazônica. Uma vez que é localizado em outra região do país, seu clima é muito diferente se comparado com os outros sítios, tendo o período seco mais longo (da Rocha et al., 2002).

Localizado a 100 km ao norte da cidade de Ji-Paraná, no estado de Rondônia, está a o sítio da Reserva de Jarú (RJA). Esse sítio está localizado em uma grande área de floresta virgem, localizada em 10.1°S, 61.9°O, a 145 metros de altitude acima do nível do mar, e tem um tipo de vegetação de floresta tropical sempre-verde de folhas-largas. Seu clima é predominantemente equatorial, com regimes de precipitação variando ao longo do ano (Von Randow et al., 2004).

O sítio Fazenda Nossa Senhora (FNS) está localizado em 10.8°S, 62.4°O, a 293m de altura acima do nível do mar, distante 50 km da cidade de Ji-Paraná. O sítio sofreu desmatamento devido à incêndios em anos anteriores, e desde 1991 a área está coberta com pasto. O clima é o mesmo que no sítio RJA (Von Randow et al., 2004).

Um índice dos tipos de vegetação e das estações secas para cada sítio é encontrado na Tabela 1. Na maior parte dos sítios, a estação seca ocorre em julho, agosto e setembro. No sítio PDG, o qual é caracterizado como um sítio de savana subtropical, a estação seca é entre abril e setembro.

## **2.2 Dados e Modelos do LBA-DMIP**

Smith et al., 2010, considera que medidas diretas de NPP são impossíveis. Os autores sugerem que NPP pode ser estimado através de sensoriamento remoto, porém existem

limitações para estas estimativas uma vez que estas são derivadas de dados espectrais usando algoritmos e proporções fixas de outras variáveis. NPP também pode ser medido através de equações alométricas em estimativas “bottom up”. Geralmente, NPP é estimado como uma função de outras duas variáveis:

$$NPP = GPP - R_{auto}$$

Onde GPP é a produtividade primária bruta e  $R_{auto}$  é a respiração autotrófica das plantas. A representação precisa do NPP descreve a taxa de crescimento de um ecossistema, sendo determinante para a disponibilidade de matéria orgânica.

GPP também pode ser medido através de sensoriamento remoto, porém essas medidas estão sujeitas aos mesmos problemas que as medidas de NPP através desse método enfrentam. Também, pode ser estimado usando a troca líquida do ecossistema (NEE) medido através da técnica de covariância dos vórtices, ou estimado através de medidas de trocas gasosas, entre outros métodos. A respiração autotrófica é geralmente medida através de técnicas de medida de trocas gasosas.

O comportamento sazonal do NPP e da biomassa de carbono nas simulações usa a classificação de modelos sugerida por Gonçalves et al., (2012). Tal classificação separa os modelos pela forma de simulação de vegetação. Os seguintes modelos simulam NPP:

- Vegetação Dinâmica, Fluxos de Carbono e Ciclos de Nitrogênio (DVN): IBIS (Foley et al., 1996; Kucharik et al., 2000); CN-CLASS (Arain et al., 2006); ISAM (Yang et al., 2009) e ED2 (Medgivy et al., 2009). A vegetação dinâmica simula as propriedades da vegetação de forma dinâmica, calculando a biomassa para cada passo de tempo dependendo das condições ambientais. Além disso, são simulados os ciclos de nitrogênio que são importantes para a fisiologia do desenvolvimento da planta.

- Vegetação Dinâmica e Fluxos de Carbono (DV): JULES (Clark et al., 2011); Noah-MP (Niu et al. 2011); ORCHIDEE (Krinner et al., 2005); LPJ-WSL (Sitch et al., 2003) e CLM3.5-DGVM (Levis et al., 2004). Estes modelos calculam a vegetação tal como os primeiros, porém sem levar em conta a influência dos ciclos de carbono no crescimento das plantas.

- Vegetação Estática (ST, apenas fluxos): SiB2 (Sellers et al., 1996); SiB3 (Baker et al., 2008); SiBCASA (Schaefer et al., 2008); SSiB2 (Zhan et al., 2003) e Biome-BGC



(Thornton et al., 2002). Estes modelos possuem quantidades pré-estabelecidas de biomassa que não independem condições ambientais simuladas.

Nenhuma simulação foi reportada para: K83 nos modelos ED2, JULES, CLM3.5; K77, PDG e FNS no modelo ISAM.

Os tamanhos dos reservatórios de biomassa são representados nos modelos IBIS, CN-CLASS, ED2, CLM3.5, SiBCASA, e Biome-BGC. As saídas faltantes nessa análise desse trabalho não foram reportadas pelos modelos. Os modelos simulam diferentes reservatórios de carbono, geralmente separando a biomassa em três componentes principais: biomassa de madeira, biomassa das raízes e biomassa das folhas.

Tabela 2 – Tipo de bioma e período seco típico para cada sítio do LBA.

Tipo de bioma	Sítio	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Floresta Sempre-verde de Folhas-largas	K34													Araujo et al. 2001
	K67													Hutyra et al., 2007
	K83													Da Rocha et al., 2004; Miller et al., 2004
	RJA													Randow et al., 2004
Floresta Decídua de Folhas-largas	BAN												Borma et al., 2009	
Savana (cerrado)	PDG												Da Rocha et al., 2002	
Pasto/Agricultura	FNS												Andreae et al., 2002; Randow et al., 2004	
	K77												Sakai et al., 2004	

A Tabela 3 mostra os nomes dos reservatórios de cada reservatório de biomassa em cada modelo usado nessa análise. Biomassa de madeira é separada em madeira viva (alburno) e madeira morta (cerne) no CLM3.5 e no Biome-BCG, e em madeira acima e abaixo do solo no ED2, representando a biomassa total de madeira. A componente da biomassa das raízes, a qual é também separada nos modelos CN-CLASS, ED2 e Biome-BCG em suas duas componentes: raízes ásperas e raízes finas. As raízes finas são mais vitais para a absorção de minerais, entretanto ambas são importantes para a quantificação de biomassa.

Os outros reservatórios de carbono geralmente simulados pelos modelos são liteira (IBIS separa a liteira em diferentes componentes), matéria orgânica do solo (SOM, também separado em diferentes componentes), escombros de madeira áspera (em inglês: coarse wood debris, CWD), armazenamento de carbono (que pode ser contado como armazenamento geral no SiBCASA e ED2, ou como armazenamento em cada reservatório separadamente como no Biome-BCG), e transferência de carbono. A biomassa total da vegetação é definida como a soma das biomassas de madeira, folhas e raízes. Essas são variáveis chaves para entender o estado atual de um bioma.

Tabela 3 – Nomes dos diferentes reservatórios de carbono para seis modelos do LBA-DMIP. As principais componentes dos reservatórios de biomassa são representadas pela mesma forma de linhas hachuradas: biomassa de Madeira: linhas verticais; biomassa de raízes: linhas horizontais; biomassa de folhas: linhas diagonais.

IBIS	CN-CLASS	ED2	CLM3.5	SiBCASA	Biome-BCG
Folhas	Biomassa de folhas	Folhas	Folhas vivas	Folhas	Folhas
Raízes	Biomassa de raízes	Raízes totais	Alburno vivo	Raízes	Estoque de folhas
Madeira	Biomassa de raízes finas	Alburno acima do solo	Cerne morto	Madeira	Transferência de folhas
	Madeira acima do solo	Cerne acima do solo	Raízes vivas		Raízes finas
					Estoque de raízes finas
					Transferência de raízes finas
					Caulé
					Estoque do caule
					Transferência do caule

					Caulé morto
					Estoque do caule morto
					Transferência do caule morto

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Condições Ambientais:

Na Figura 2, são mostradas as condições meteorológicas dos sítios do LBA-DMIP. Na Figura 2a, a radiação de onda curta média total para o período é mostrada para cada sítio. O sítio de savana, PDG, tem uma radiação incidente média mais baixa. Um dos motivos é sua localização, em uma latitude mais ao sul (21.0°S). Para os outros sítios, a radiação média é semelhante, entretanto nos sítios de pasto/agricultura ela é menor que para os demais sítios. As médias são próximas de 420 W/m<sup>2</sup> para os sítios de floresta, 410 W/m<sup>2</sup> para os sítios de pasto/agricultura e 370 para o sítio de savana.

A radiação incidente de onda longa é mostrada na Figura 2b. De forma similar ao que ocorre com a radiação de onda curta, o sítio PDG mostrou menor radiação de onda longa, o que se deve à menor umidade, uma vez que é o único sítio que não se localiza na região amazônica. O sítio K77 teve a maior radiação de onda longa. A posição geográfica explica grande parte da diferença entre os sítios nesse caso, dentre outros motivos.

A temperatura do ar é mostrada na Figura 2c. Como esperado, a temperatura do ar é menor para o sítio PDG, devido à sua maior latitude e menor radiação incidente. A temperatura do ar mais alta é encontrada nos sítios BAN, uma floresta decídua que possui uma alta radiação de onda longa incidente, e K77, um sítio de pasto/agricultura com a mais alta radiação de onda longa.

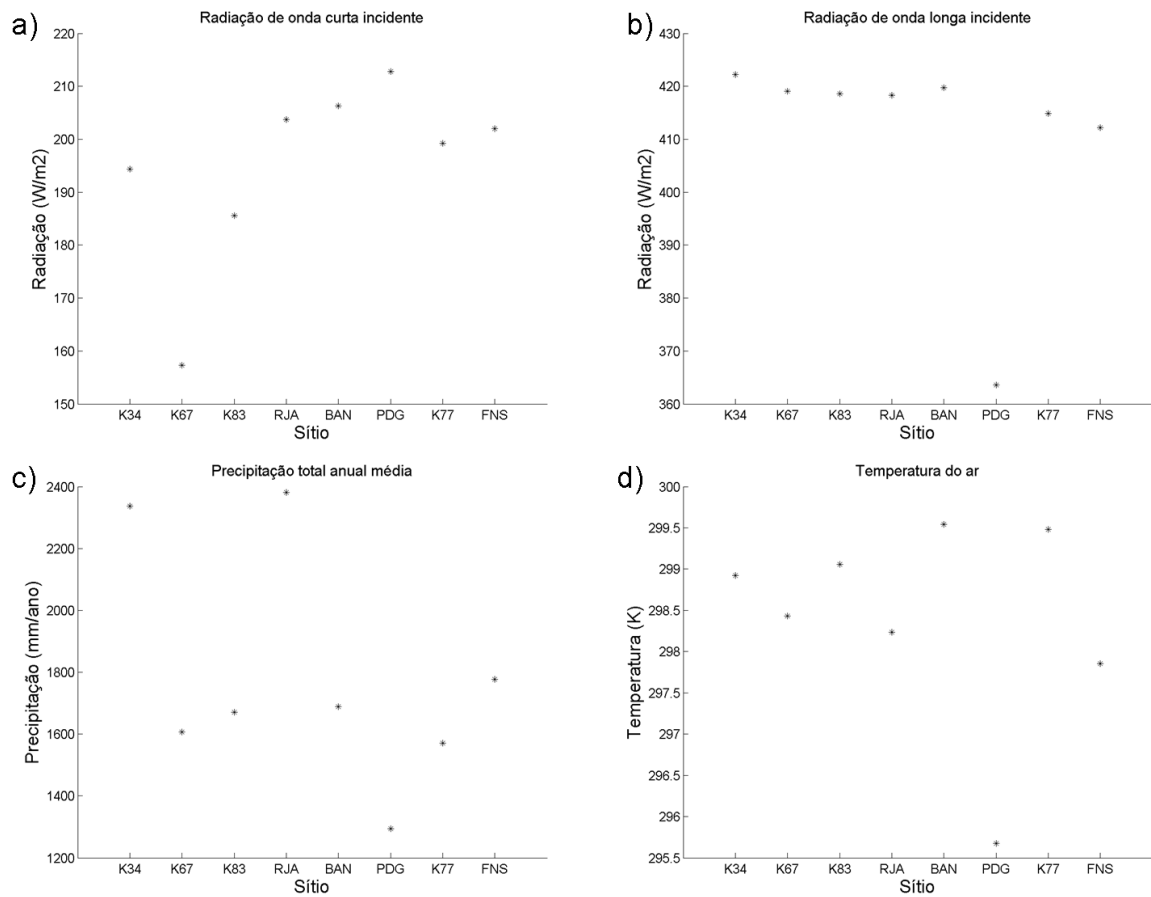


Figura 2 – Condições meteorológicas dos sítios do LBA-DMIP no período do experimento

A precipitação anual média, como mostrada na Figura 2d, é menor para o sítio PDG, devido a sua mais baixa temperatura. Os sítios K34 e RJA tiveram a mais alta precipitação total. Isso pode ser explicado em partes pela localização geográfica dos sítios: por ser localizado em Manaus e cercado por rios, a taxa de precipitação do sítio K34 sofre menor influência das estações secas. O sítio RJA localiza-se mais para leste em relação à Santarém, e difere do FNS na taxa de precipitação devido à diferença nos anos de medição do experimento.

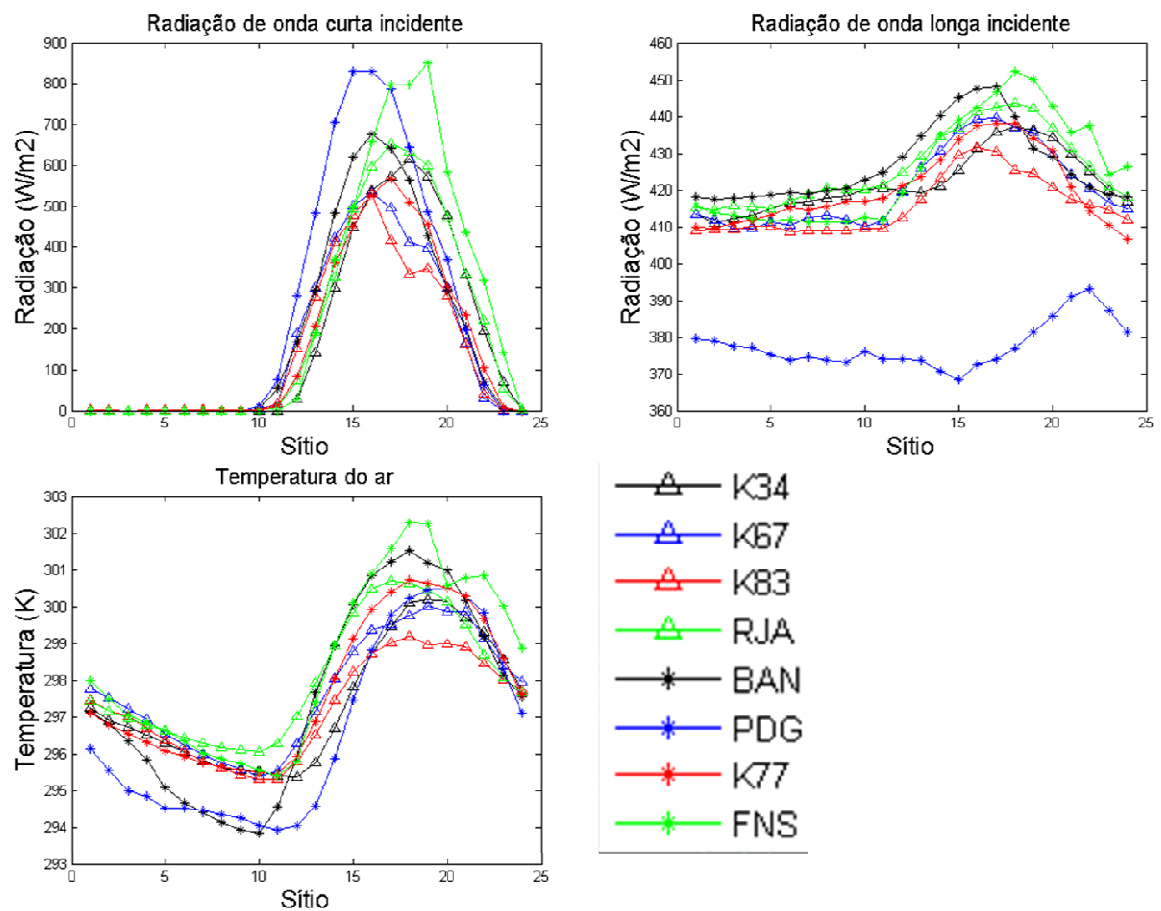


Figura 3 – Ciclos diários médios de radiação de onda curta, radiação de onda longa e temperatura do ar, medidos em cada sítio.

Os ciclos médios diários da radiação e da temperatura do ar para cada sítio são representados na Figura 3. O ciclo diário é menos pronunciado no PDG para a radiação de onda curta. Para outros sítios, os períodos de maior radiação são logo após 16h, diminuindo após as 20h. Para a radiação de onda longa, entretanto, os ciclos diários são menos pronunciados. O sítio RJA mostra um rápido aumento de radiação de onda longa incidente após as 12h, enquanto BAN mostra quase nenhuma variação. De forma geral, é visto que a mais alta radiação de onda longa incidente ocorre no período da tarde. Mais uma vez, o sítio PDG mostra os menores valores de radiação.

Analisando a temperatura do ar representada na Figura 3c, pode ser observado que a diferença do sítio PDG para os demais é menor que as diferenças de radiação. Os picos de temperatura são dados entre 17 às 19h em todos os sítios.

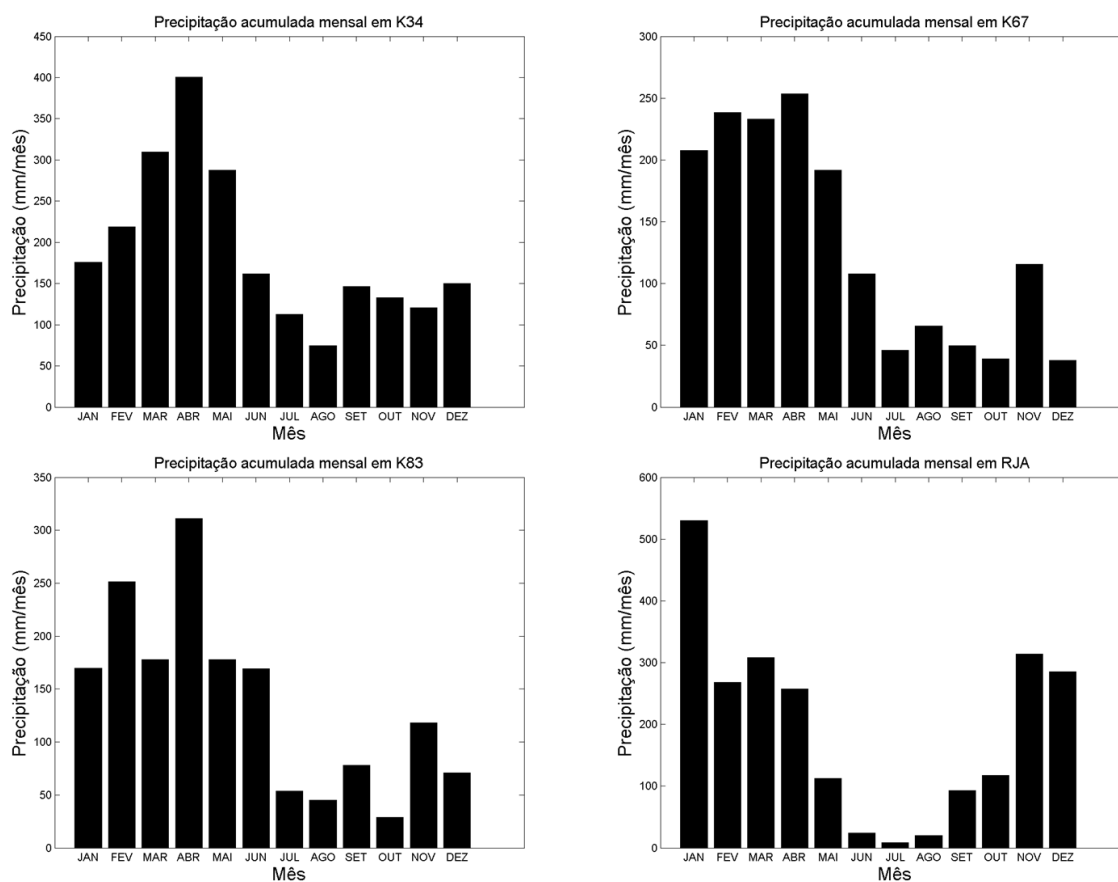


Figura 4 – Precipitação mensal nos sítios K43, K67, K83 e RJA

A precipitação média mensal é mostrada nas Figuras 4 e 5. A precipitação é maior nos meses de verão para todos os sítios, incluindo PDG. Entretanto, esse padrão é mais forte em alguns sítios tais como RJA e BAN, que possuem precipitação acumulada abaixo dos 20 mm/mês nos meses de junho, julho e agosto. Esses resultados combinam com os estudos dos sítios individuais, dados nas referências da Tabela 2. K34, K67, K77 e K83, os quais estão todos localizados próximos geograficamente, tem uma distribuição de taxa de precipitação similar ao longo do ano, com a precipitação acumulada máxima em abril e mínima em agosto (exceto para K83, no qual o mínimo é em outubro). Os outros sítios, os quais estão mais distantes do Equador, tem menores taxas de precipitação ao longo do inverno.

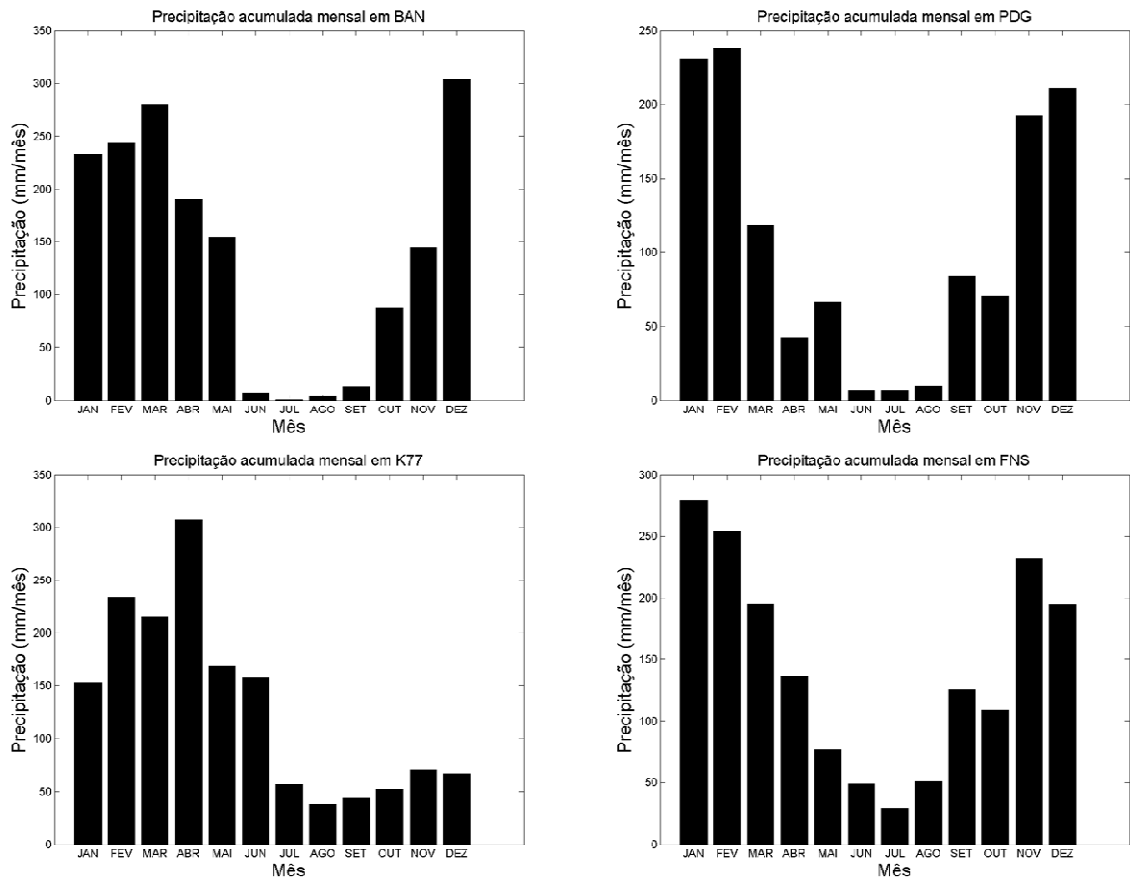


Figura 5 – Precipitação mensal nos sítios BAN, PDG, K77 e FNS.

## 3.2 Médias e Ciclos Diários de NPP

### 3.2.1 NPP – Ciclo Diário e Média Mensal

Os modelos ISAM e BIOME-BCG não reportam um ciclo diário para o NPP, e seus valores permanecem constantes ao longo do dia. O LPJ-WSL reportou apenas médias diárias dos resultados. O modelo SiB3 apresenta uma variação no ciclo diário para todos os sítios exceto para o K77. Além disso, os valores noturnos do NPP são nulos para todas as simulações com o SiB3.



Para destacar as diferenças entre os modelos, vamos descrever os resultados para as simulações de NPP na forma de ciclos diários médios mensais (Figura 6 e Figura 7) e a média mensal para cada modelo em cada sítio (Figura 8 e Figura 9).

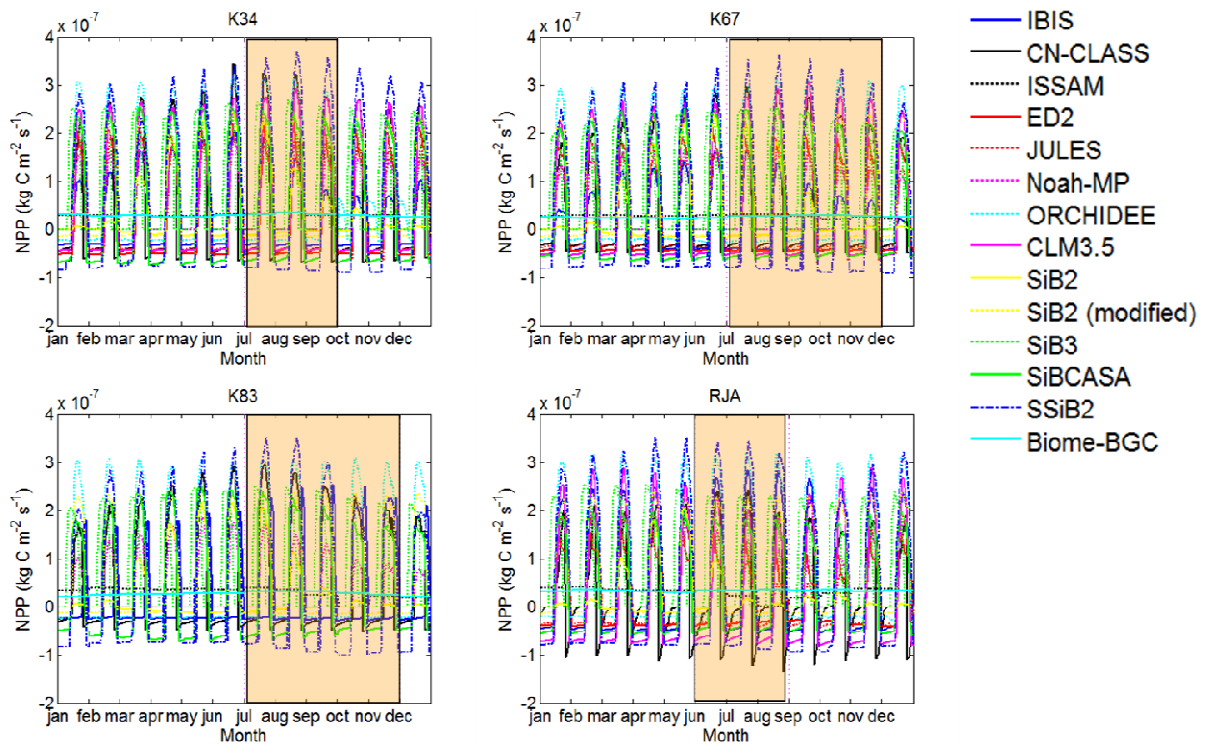


Figura 6 – Ciclos diários médios mensais do NPP para cada simulação de modelo nos sítios K34, K67, K83 e RJA. O período seco é a parte destacada pela área iluminada em cada gráfico.

### 3.2.2 Florestas Sempre-verdes de Folhas-largas

#### 3.2.2.1 Modelos de Vegetação Dinâmica, Fluxos de Carbono e Ciclos de Nitrogênio (IBIS, CN-CLASS, ISAM e ED2)

Estes modelos mostram um comportamento similar para os ciclos diários médios mensais para cada sítio, com picos diários entre  $2-3 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  e valores noturnos ao redor de  $-0.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Fig. 6 e Fig. 7). Em todos esses sítios os modelos descrevem um decréscimo na média mensal no período seco (Fig. 8 e Fig. 9). O ciclo diário é também influenciado nesse período, mesmo que para todos os modelos, na estação seca o pico diário do NPP seja maior. Para o K83 o modelo IBIS mostra um ciclo diário de 6 horas e deslocado, das 18 às 24h. Como uma consequência, a média mensal é menor para esse modelo. O modelo CN-CLASS mostra um pico negativo no começo da noite para todos os sítios, o que pode ser observado de forma mais pronunciada no sítio RJ. O ciclo diário apresentado pelo modelo ED2 para todos os sítios mostra um rápido aumento no começo da manhã seguido por um decréscimo tipicamente exponencial nos valores de NPP ao fim do período diurno.

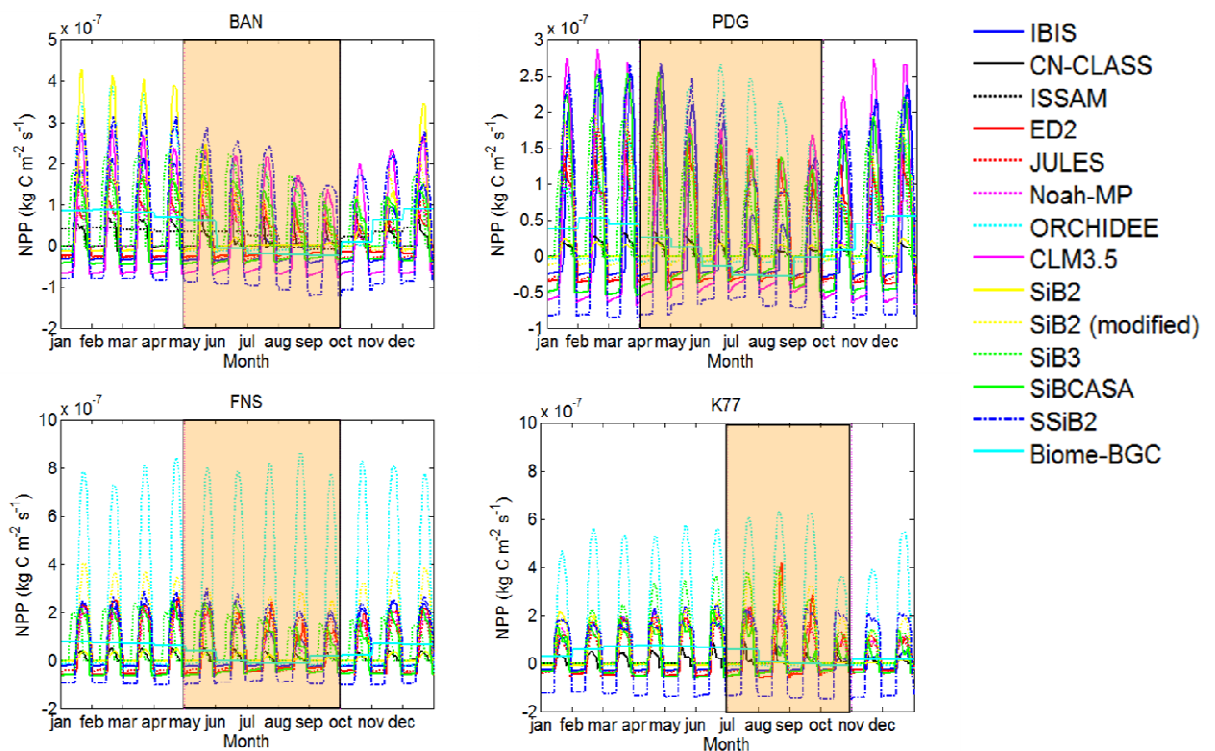


Figura 7 – Ciclos diários médios mensais do NPP para cada simulação de modelo nos sítios BAN, PDG, FNS e K77. O período seco é a parte destacada pela área iluminada em cada gráfico.

### 3.2.2.2 Modelos de Vegetação Dinâmica e Fluxos de Carbono (JULES, Noah-MP, ORCHIDEE, LPJ-WSL e CLM3.5-DGVM)

Para K34, K67 e RJA, todos os modelos mostraram ciclos diários médios mensais muito similares, mesmo que em todos os caso o ORCHIDEE, seguido pelo CLM3.5 mostraram os picos mais elevados, alcançando aproximadamente  $3 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  enquanto o Jules e o Noah-MP não tiveram picos maiores que  $1.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Fig. 6 e Fig. 7). A maior diferença entre esses modelos, em relação aos ciclos diários médios mensais, está na representação noturna do NPP.

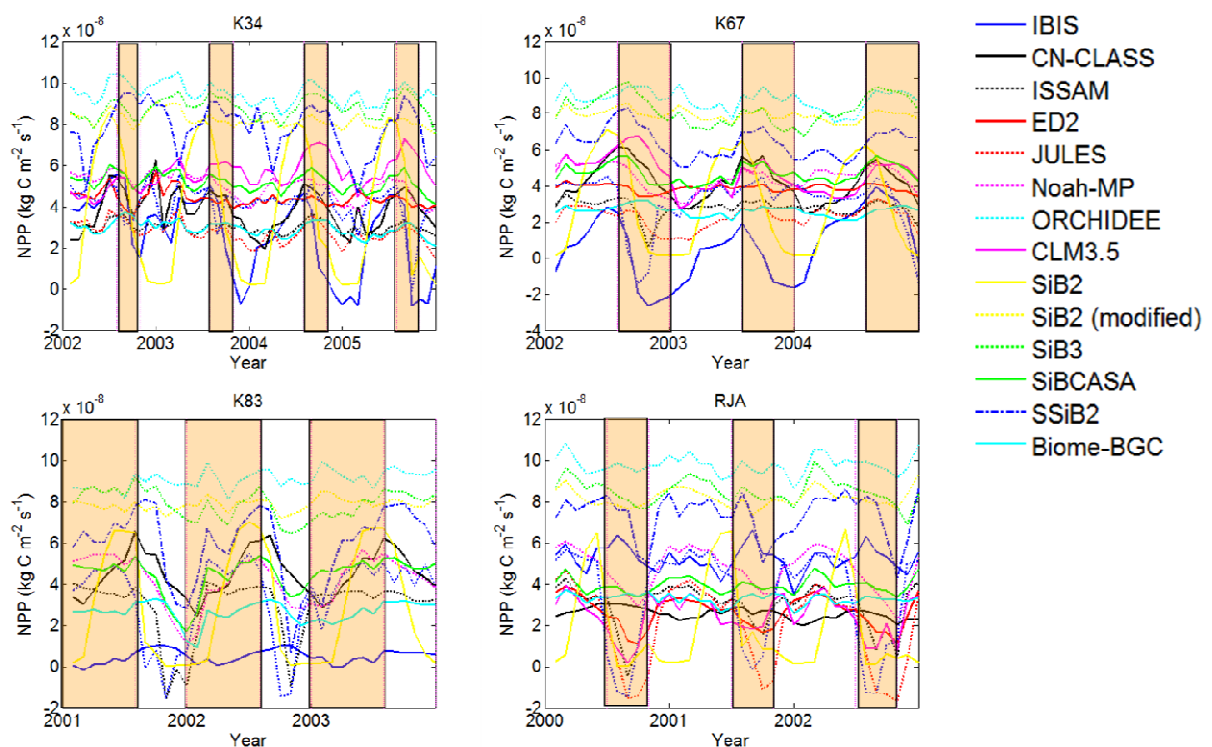


Figura 8 – NPP médio diário para cada simulação de modelo nos sítios K34, K67, K83 e RJA. O período seco é a parte destacada pela área iluminada em cada gráfico.

Enquanto no Noah-MP os valores noturnos são duas ordens de magnitude menores que os outros modelos ( $-10^{-10} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), o CLM3.5 é de  $0.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Estas diferenças são

refletidas na média mensal. O modelo ORCHIDEE mostrou médias mensais acima de  $8 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , sem uma sazonalidade característica (Fig. 8 e Fig. 9). Entretanto, os outros modelos demonstraram uma sazonalidade anual, se o NPP médio mensal for subtraído para os sítios K83 e RJA no período seco, as simulações para o K34 e K67 foram muito similares para os modelos, com médias mensais de  $2 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (JULES) a  $6 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (CLM3.5).

### 3.2.2.3 Modelos de Vegetação Estática (SiB2, SiB2 (modificado), SiB3, SiBCASA, SSiB2, e BIOME-BGC)

Os modelos que compartilharam a arquitetura do SiB mostraram valores médios muito similares para os ciclos diários, não representando uma sazonalidade pronunciada, exceto para o SiB2. O SiBCASA e o SsiB2 mostram um ciclo diário médio mensal similar, com valores noturnos de NPP em torno de  $0.8 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Fig. 6 e Fig. 7). Os picos diurnos do SiBCASA podem alcançar  $2.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , e o SsiB2 tem picos maiores, alcançando  $3.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  no período seco. O modelo SiB2 mostra uma sazonalidade muito singular no ciclo diário, aumentando os picos diurnos de Janeiro a junho e então decaindo a partir de julho. BIOME-BGC não mostra um ciclo diurno, tendo valores médios mensais em torno de  $3 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  para todos os sítios. No período seco a média mensal diminui significativamente para todos os modelos (Fig. 8 e Fig. 9). Na média mensal, os valores variam de  $9 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  até  $4 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  no SiB3, SiB2 (modificado), SSiB, SiBCASA (em ordem decrescente). Essa sazonalidade se torna mais evidente na média mensal.

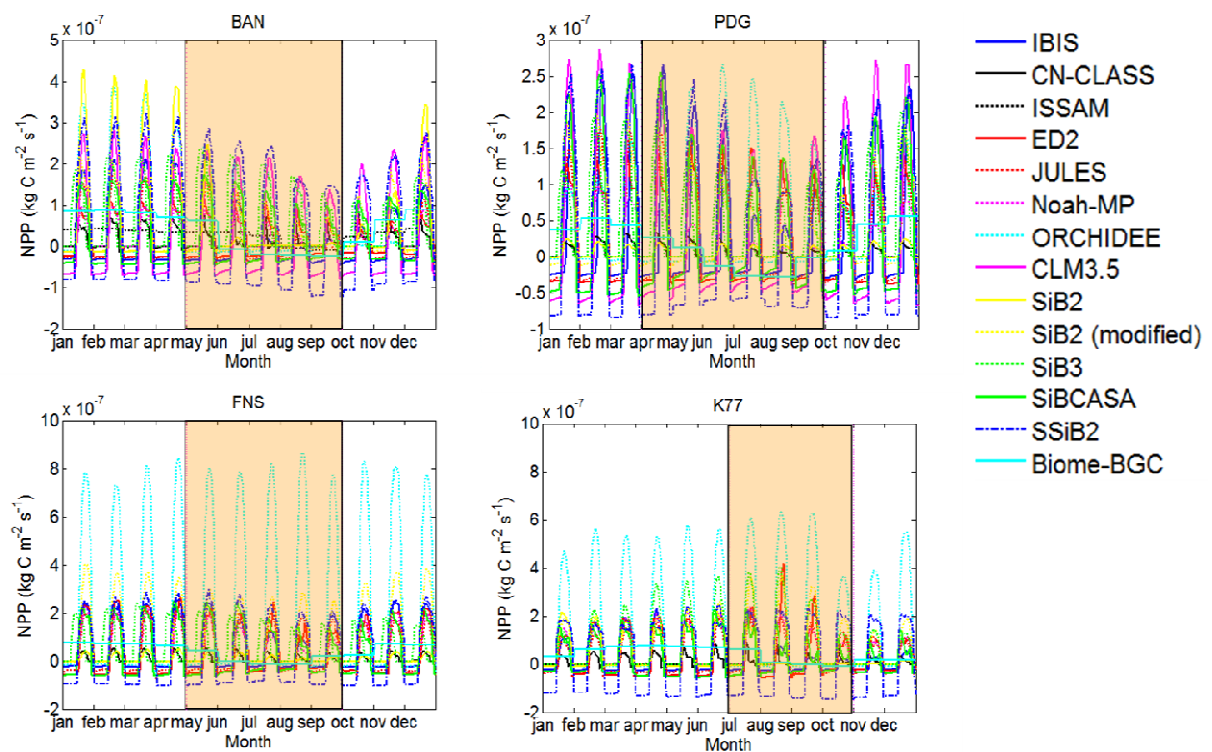


Figura 9 - NPP médio diário para cada simulação de modelo nos sítios BAN, PDG, FNS e K77. O período seco é a parte destacada pela área iluminada em cada gráfico.

### 3.2.3 Florestas Decíduas de Folhas-largas

O sítio BAN é sazonalmente inundado, com uma estação seca de cinco meses que se estende entre maio e setembro. Os modelos de vegetação dinâmica, fluxos de carbono e ciclos de nitrogênio apresentam dois padrões nas médias mensais. O IBIS e o ISAM apresentam uma sazonalidade pronunciada no período seco que pode mostrar valores médios negativos alcançando até  $-2.4 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Os modelos CN-CLASS e ED2 não têm uma grande variabilidade ao longo do ano. Na estação seca, o pico diurno do ciclo diário médio mensal diminui consideravelmente para todos os modelos, apesar de que os valores do NPP noturno não mostram um aumento significativo. Para os modelos de vegetação dinâmica e fluxos de carbono, é interessante notar que mesmo apesar de os modelos JULES, Noah-MP, LPJ-WSL e CLM3.5 terem mostrado um comportamento muito similar nas médias mensais, com uma sazonalidade bem definida, o ciclo diário mostra uma grande variabilidade, com diferenças

significativas no fluxo noturno. O modelo ORCHIDEE mostra valores médios mensais até três vezes maiores que outros modelos no período seco, atingindo até  $12.7 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , enquanto os outros modelos alcançam um máximo de até  $5 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Isso é devido ao fato de que os valores diurnos e noturnos do ORCHIDEE serem mais altos que os dos outros modelos. De forma similar aos sítios de floresta sempre-verde, o Noah-MP mostra valores noturnos na ordem de  $10^{-10} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Os modelos de vegetação estática mostram uma grande variabilidade entre eles, mesmo apesar de que todos eles mostram um decréscimo no NPP médio mensal para o período seco, alcançando valores negativos de  $-2 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  no modelo BIOME (Fig. 8 e Fig. 9). Nos ciclos diurnos, o SiB2 e o SiB (modificado) mostraram praticamente os mesmos valores noturnos, mas ao longo do dia, o SiB2 estima valores quase duas vezes maiores no período úmido. No período seco esses alcançam valores próximos a zero, enquanto nos ciclos diários do SiB2 (modificado) são sempre muito próximos aos valores simulados pelo SiBCASA e SiB3. No período seco o SSiB2 diminui os valores do pico diurno mas os valores noturnos se tornam em média ainda menores.

### 3.2.4 Savana

No sítio de savana, PDG, o modelo IBIS mostra valores menores comparados aos outros modelos. Os valores noturnos para o CN-CLASS são nulos. O modelo IBIS começa com um ciclo diurno mais pronunciado (maior que  $2 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) que diminui quase uma ordem de magnitude no fim da estação seca, representando uma sazonalidade média mensal. Os modelos ED2 e CN-CLASS não mostram esse comportamento, e o ciclo diário médio mensal do modelo ED2 mostra os menores valores noturnos, em torno de  $1 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  no pico diurno enquanto para o CN-CLASS o NPP noturno é nulo, tendo valores médios mensais em torno de  $0.7 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  durante o dia (Fig. 8 e Fig. 9). Assim, a média mensal se mantém em torno de uma ordem de magnitude menor no CN-CLASS do que no ED2.

Modelos de vegetação dinâmica e fluxos de carbono apresentam grande variabilidade no ciclo diário. Os modelos Jules, Noah-MP e NLM3.5 mostraram uma sazonalidade em

função do período seco, diminuindo a média mensal nesse período. As diferenças no ciclo diário médio mensal de até três vezes são refletidas na média. O modelo JULES tem os menores valores de média mensal (em torno de  $2 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e o modelo ORCHIDEE tem os maiores ( $9 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). O modelo ORCHIDEE apresenta um comportamento particular simulando valores altos de NPP mesmo em períodos secos.

As formulações de modelos que compartilharam do SiB, com exceção do SiB2, tem um comportamento similar aos sítios de savana, representando a diferença entre os períodos úmidos e secos como sendo de quase  $4 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . SiB2 mostra um pico diurno de quase uma ordem de magnitude menor que os outros, sem representar uma sazonalidade. As médias mensais são praticamente constantes ao longo do ano ( $6 \times 10^{-9} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Biome-BCG mostra valores próximos aos outros modelos no período úmido, mas no período seco estes valores se tornam muito menores, alcançando até  $-3 \times 10^{-8} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  em média.

### 3.2.5 Pasto/Agricultura

#### 3.2.5.1 Modelos de Vegetação Dinâmica, Fluxos de Carbono e Ciclos de Nitrogênio

Para os sítios de agricultura, em geral os modelos mostram o mesmo comportamento entre si. Os modelos IBIS e ED2 se comportam de maneira similar para ambos os sítios (FNS e K77), apesar de o IBIS simular a sazonalidade característica nos últimos anos para o K77. Os valores para ambos os sítios foram em torno de  $0.3\text{-}0.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . O CN-CLASS mostra resultados similares aos de floresta e savana, apresentando um pequeno ciclo diário médio mensal (próximo a zero em média) e alta sazonalidade (Fig. 9). Ambos IBIS e ED2 tiveram valores noturnos negativos. ED2 também mostra um grande pico no ciclo diurno em agosto, próximo a  $4.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Também é mostrado que os resultados para o IBIS e ED2 são próximos para o sítio FNS. O pico máximo é  $2 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  com um leve decréscimo na estação seca, onde a média mensal permanece próxima de  $0.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  e próxima a zero na estação seca (Fig. 9). Por fim, para o sítio K77 o comportamento é similar ao FNS, porém a partir de julho os

valores das médias mensais diminuam, e na média mensal eles são menores que zero, o que pode representar perda de biomassa. O comportamento do CN-CLASS é próximo em ambos os sítios, com valores próximos a zero.

### 3.2.5.2 Modelos de Vegetação Dinâmica e Fluxos de Carbono

Nos modelos de vegetação dinâmica e fluxos de carbono, Noah-MP e Jules apresentam o mesmo comportamento para o K77 e FNS, exceto no período seco para o FNS. A maior diferença está no período noturno, onde os valores do Noah-MP são nulos, o que faz as médias mensais maiores para o Noah-MP (Fig 7). O ORCHIDEE simula a média mensal aproximadamente 3 vezes maior que em outros modelos, mostrando valores de até  $6.2 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  para o K77 e  $8 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  para o FNS, enquanto os outros modelos tem picos em torno de  $2 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Para ambos os sítios, o NPP médio nesses modelos fica em torno de  $0.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Para esses modelos, o ORCHIDEE também apresenta os mesmos valores nos ciclos diários médios mensais, mas com valores médios mensais até quatro vezes maiores (Fig. 8 e Fig. 9). Os modelos restantes (Noah-MP e JULES) tem um comportamento similar para ambos os sítios, apesar do Noah-MP ter valores noturnos próximos a zero.

### 3.2.5.3 Modelos de Vegetação Estática

Para os modelos de vegetação estática, no sítio FNS, SiBCASA, SSiB2 e SiB3 apresentam um comportamento diurno muito similar. O período noturno é de valores nulos para o SiB3 e negativos para o SSiB2 (em torno de  $-1.5 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e para o SiBCASA (em torno de  $-0.2 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) (Fig. 7). O SiB2 e o SiB2 (modificado) tem comportamento similar à noite, porém durante o dia o SiB2 (modificado) apresenta valores de quase uma ordem de magnitude de diferença, o que se reflete na média mensal. Não há ciclo diário médio mensal nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro ao longo do ano, e



para um todos os meses do ano de 2005 no modelo SiB2. O SiB2 (modificado) é similar ao SiB3, tendo o mais alto NPP médio (em torno de  $0.5-07 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e um ciclo diurno próximo, com um pico de  $4 \times 10^{-7} \text{ KgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$  em agosto.

O modelo SiB3 para o sítio FNS mostra um deslocamento de 3 horas em relação aos outros modelos. Os valores mais baixos das medias mensais são do modelo SiB2 e os mais altos do modelo SiB2 (modificado), mas essa diferença é especialmente notada para a estação seca, não sendo tão claramente notada durante todo o ciclo no sítio K77. O SiBCASA, SSiB2 e SiB3 são próximos para o K77 no ciclo diário e na média mensal.

### 3.3 NPP – Integração Anual

A Tabela 4 mostra o NPP anual integrado com o desvio padrão, calculado usando o NPP médio horário simulado pelos modelos e a media de todos os modelos (ENS) com seu desvio padrão. Para o mesmo tipo de bioma os modelos, em geral, mostram a mesma magnitude para o NPP. Entretanto, o modelo IBIS mostrou uma maior variabilidade para o mesmo bioma, por exemplo: o sítio RJA ( $1.65 \pm 0.04 \text{ KgC m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ) e o sítio K83 ( $0.15 \pm 0.01 \text{ KgC m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ). Nas simulações para cada sítio, ORCHIDEE mostrou os mais altos valores de NPP, seguido pelo SiB3.

O desvio padrão do ENS mostra uma grande variabilidade entre as simulações. As simulações para o PDG mostraram a menor variabilidade ( $0.49 \text{ KgC m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ), enquanto para o FNS, um sítio de pasto/agricultura, a variabilidade foi maior ( $2.12 \text{ KgC m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ). Entretanto, se excluirmos as simulações do modelo ORCHIDEE da media ENS, o desvio padrão e a média do ENS diminuem para todos os sítios, e diminuem mais significativamente para os sítios de pasto/agricultura, o que demonstra que existem problemas com a parametrização deste modelo para os sítios desse tipo de vegetação.

Malhi et al (2009) apresenta uma estimativa do NPP anual para os sítios K34 e K67, também mostrada na Tabela 4.

**Tabela 4 – NPP integrado anual com desvio padrão para cada modelo do LBA-DMIP em cada sítio do LBA. A média de todos os modelos (ENS) com seu respectivo desvio padrão também é incluída. Os valores observados (OBS) são reportados por Malhi et al. (2009). Para os sítios K34 e K67.**

	Floresta Sempre-verde				Floresta Decídua	Savana	Pasto/Agricultura	
Modelo\sítio	K34	K67	K83	RJA	BAN	PDG	FNS	K77
IBIS	0.84±0.05	0.20±0.04	0.15±0.01	1.65±0.04	0.60±0.06	1.03±0.05	1.77±0.06	0.82±0.07
CN-CLASS	1.20±0.04	1.31±0.03	1.42±0.03	0.81±0.02	0.43±0.014	0.19±0.01	0.28±0.01	0.29±0.01
ISAM	0.94±0.021	0.87±0.02	0.92±0.04	0.93±0.03	0.87±0.04	-	-	-
ED2	1.37±0.02	1.22±0.02	-	0.85±0.02	0.60±0.02	0.93±0.02	1.43±0.04	1.24±0.04
JULES	0.86±0.03	0.71±0.02	-	0.63±0.05	0.40±0.04	0.72±0.04	0.97±0.03	0.70±0.03
Noah-MP	1.58±0.02	1.41±0.02	1.32±0.03	1.49±0.03	0.64±0.02	0.60±0.03	1.67±0.04	1.61±0.05
ORCHIDEE	3.00±0.04	2.77±0.03	2.86±0.03	3.09±0.03	2.15±0.09	1.83±0.07	7.98±0.12	5.52±0.12
LPJ-WSL	1.30±0.04	0.97±0.04	1.05±0.05	1.08±0.06	0.79±0.05	1.00±0.06	0.81±0.05	0.62±0.04
CLM3.5-DVGM	1.76±0.04	1.46±0.04	-	0.79±0.04	0.74±0.04	0.94±0.05	-	-
SiB2	1.14±0.07	0.95±0.05	0.91±0.06	0.59±0.05	1.77±0.14	0.20±0.00	0.29±0.01	0.84±0.07
SiB2 (mod)	2.58±0.02	2.50±0.02	2.48±0.02	2.58±0.02	1.52±0.05	1.33±0.05	3.19±0.06	2.27±0.05
SiB3	2.76±0.03	2.59±0.03	2.49±0.03	2.68±0.03	2.08±0.04	1.48±0.06	1.88±0.04	2.37±0.09
SSiB2	2.45±0.04	2.02±0.03	1.86±0.05	2.32±0.04	1.68±0.07	1.31±0.05	1.45±0.03	0.64±0.02
Biome-BGC	0.92±0.02	0.82±0.01	0.82±0.02	1.03±0.02	1.23±0.11	0.54±0.08	1.25±0.08	1.12±0.08
ENS	1.55±0.74	1.33±0.74	1.38±0.82	1.38±0.82	1.08±0.63	0.90±0.49	1.80±2.12	1.43±1.47
OBS (Mahli et al 2009)	1.01 ±0.14	1.44±0.13	-	-	-	-	-	-

Os valores médios do NPP anual dos modelos Biome-BGC, CN-CLASS ISAM, SiB2, JULES e IBIS estão dentro do grau de incerteza dos dados observados para o K34, enquanto os modelos CN-CLASS, Noah-MP e CLM3.5-DVGM estão dentro do grau de incerteza dos dados observados para o sítio K67. A maior parte dos modelos que melhor representam os dados observados são aqueles que descrevem a vegetação dinamicamente (DVN e DV).

El-Masri et al. (2012) calculou a média anual do NPP para os sítios do LBA usando o modelo ISAM calibrado para os sítios. Para o K34, o ISAM calibrado estimou o NPP anual como  $1.1 \text{ KgC m}^{-2}\text{yr}^{-1}$  e para o K67, como  $1.4 \text{ KgC m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ . Esses resultados demonstraram a boa representação do NPP anual médio (comparado com o OBS na Tabela 4). Os resultados do ISAM calibrado estão muito mais próximos dos dados observados que os não-calibrados. Isso sugere que a calibração de modelos é importante para os resultados do NPP nas simulações desse experimento.

### **3.4 GPP e CUE**

A Figura 3a mostra o GPP anual médio para os modelos, a média de todos os modelos usados nesse estudo e os valores observados por Malhi 2009. Os modelos DVN geralmente são mais próximos dos dados observados para os sítios K34 e K67. Além disso, os valores médios desse tipo de modelo são mais próximos da média de todos os modelos para os demais sítios. Os modelos DV e ST ambos possuem valores mais distantes uns dos outros, o que sugere um maior impacto das parametrizações dos modelos nos resultados do GPP, ao invés de uma maior influência direta dos esquemas de vegetação. O GPP médio de todos os modelos para o K77 está dentro do desvio padrão dos valores observados. Para o K34, esse valor não está dentro do desvio padrão observado. O desvio padrão do GPP foi maior nos sítios de pasto/agricultura, provavelmente devido à sua maior dificuldade de parametrização. Nesses sítios o modelo ORCHIDEE simula o maior GPP, mas os demais modelos DV ainda estão dentro do desvio padrão. Nos sítios de floresta tropical, os modelos DV mostraram a menor variância.

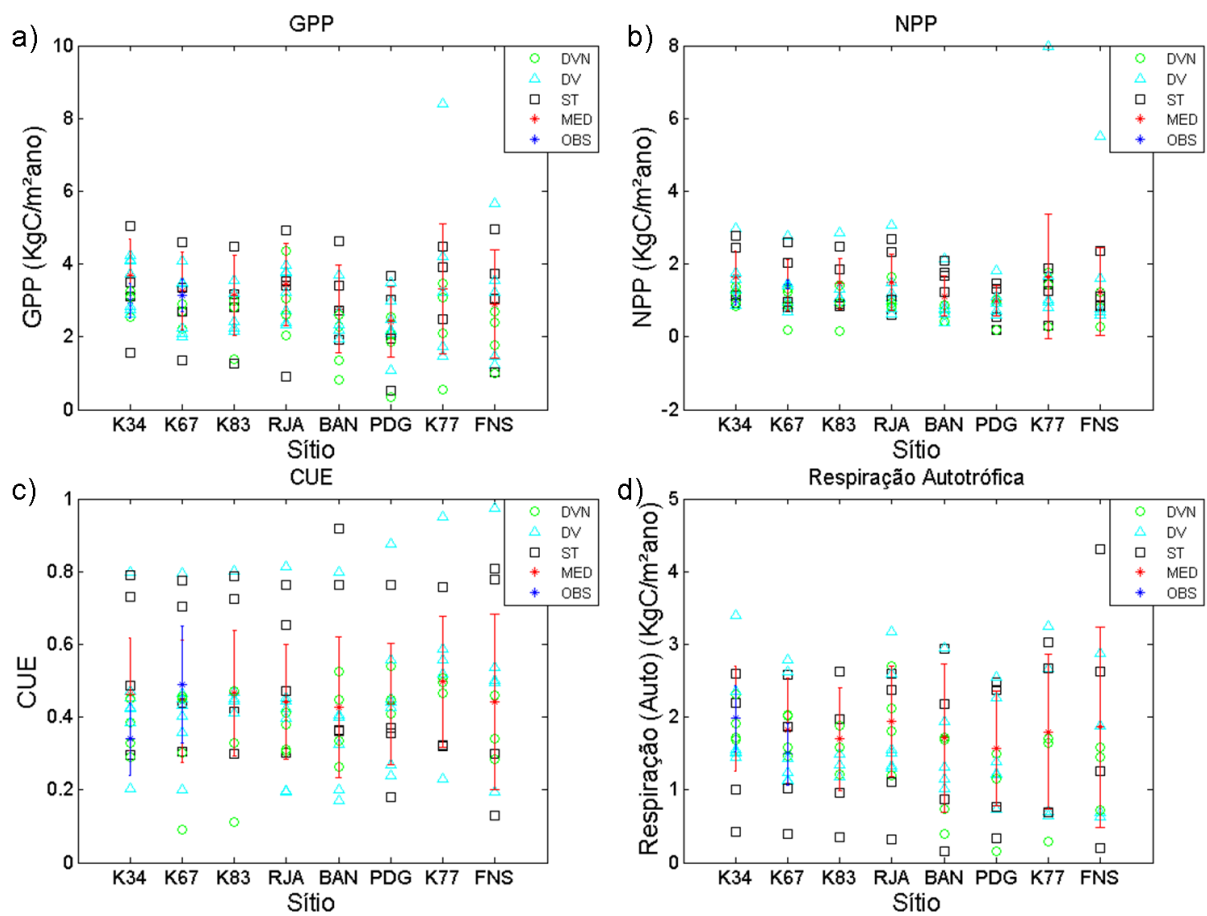


Figura 10 – GPP simulado anual, respiração autotrófica, CUE e NPP, com valores observados para os sítios K34 e K67.

A média anual do CUE, definida como a razão entre NPP e GPP, é mostrada na figura 3d. De forma similar aos resultados do GPP, de forma geral os resultados dos modelos DVN são os mais próximos aos valores observados, com os modelos DV e ST tendo maior variância em torno da média. Existe uma tendência para os modelos ST em simular os valores do CUE mais altos que a média nos sítios de floresta tropical, especialmente os modelos SiB2 e SiB3. Os resultados dos modelos DV em geral não estão dentro do desvio padrão dos modelos, entretanto alguns modelos dessa categoria estão próximos à média. Para o K67, a média de todos os modelos está dentro do desvio padrão e próxima aos valores observados. Para o K34, entretanto, o valor médio dos modelos não está dentro do alcance do desvio padrão. O modelo IBIS mostrou um CUE mais baixo para os sítios K67 e K83, como uma consequência da respiração autotrófica quase tão alta quanto o GPP. Todos os oito biomas

mostraram valores médios e desvios padrões similares para os modelos. O desvio padrão para o sítio FNS foi o maior dentre os sítios.

Para a respiração autotrófica Figura 3c, a tendência do SiB2 e do SiB3 de superestimar o CUE observado nos dois primeiros sítios é revertida, passando a ser uma tendência de subestimativa, e a media dos modelos ST também subestima os valores observados. Uma vez que o CUE é definido como:

$$CUE = \frac{NPP}{GPP} = 1 - \frac{R_{auto}}{GPP}$$

Onde  $R_{auto}$  é a respiração autotrófica. Então, é esperado que quando os valores de  $R_{auto}$  aumentarem, os valores de CUE diminuam em magnitude. Mais uma vez, para os sítios de floresta tropical os modelos DVN têm à menor variância em torno da média, e são mais próximos aos valores observados, geralmente ficando dentro do desvio padrão dos valores observados nos sítios que os tem disponíveis. SiBCASA e Noah-MP caem dentro do alcance dos valores observados no K67, e os modelos ISAM, BIOME, LPJ-WSL e SiB2 para o sítio K34. ORCHIDEE é o modelo mais divergente para os sítios de pasto/agricultura.

O NPP anual médio é mostrado na figura 3b. Os modelos que ficam fora do desvio padrão da média de todos os modelos são os mesmos do CUE e da respiração autotrófica (SiB2, SiB3 e ORCHIDEE). O modelo IBIS mostrou um NPP menor para os modelos com CUE pequeno, como um resultado da sua respiração autotrófica elevada.

### 3.5 Reservatórios de Carbono

De acordo com Malhi et al. (2011), nos sítios da Amazônia, as componentes de madeira acima do solo, do dossel e das raízes finas compõe 93% do NPP estimado total. Logo, a comparação dos reservatórios de carbono representando a biomassa dessas variáveis deve fornecer uma boa estimativa da precisão dos modelos em simular o conteúdo de carbono. A Figura 11 mostra a biomassa total de madeira, folhas e raízes e a biomassa total para os modelos que representam os reservatórios de carbono para cada sítio do LBA. Para cada modelo, as três maiores componentes dos reservatórios de biomassa são calculadas

usando a soma dos reservatórios de carbono representados na Tabela 3. Os modelos que simulam vegetação de forma dinâmica apresentaram uma variabilidade negligenciável ao longo dos anos (dados não mostrados). Portanto, apenas as médias anuais serão apresentadas para o período de simulação.

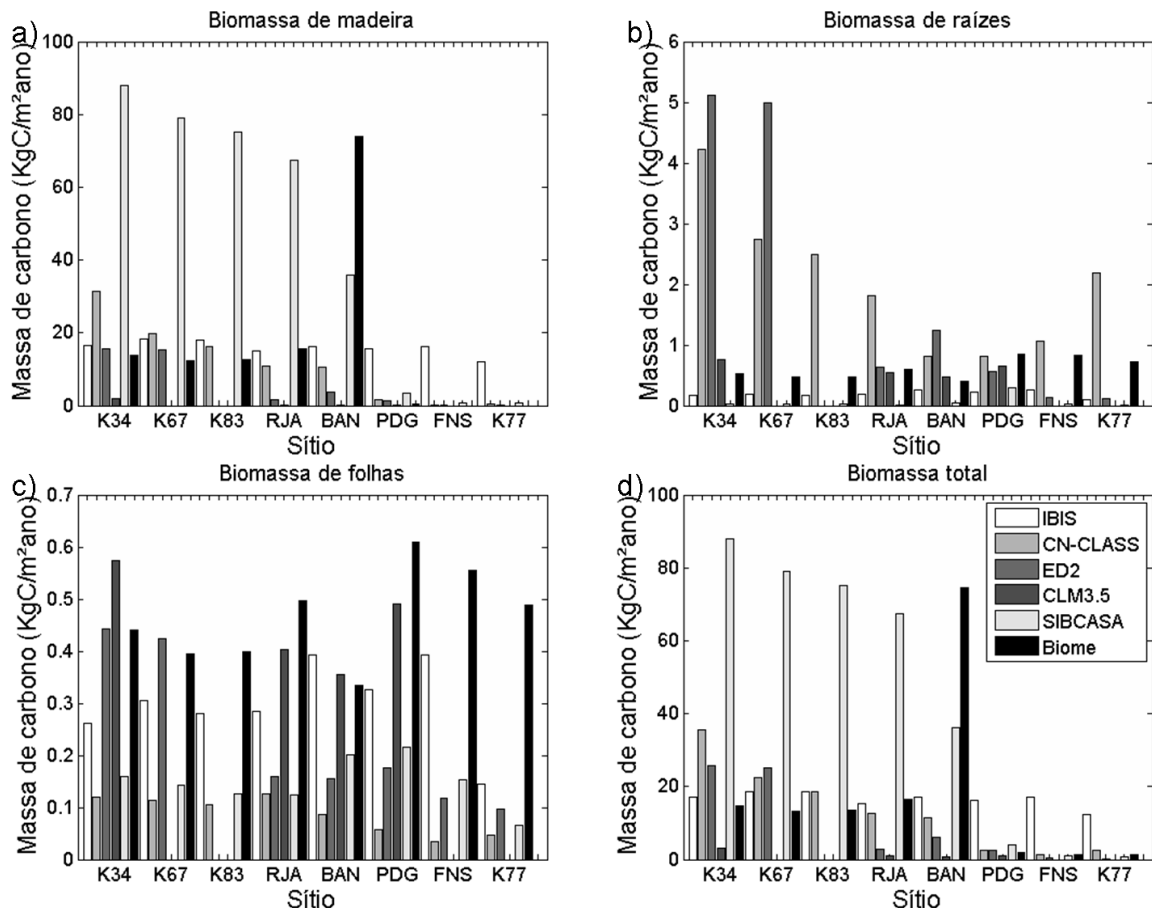


Figura 11 – Componentes dos reservatórios de biomassa para diferentes modelos em cada sítio.

Existe uma discrepância na biomassa simulada nos reservatórios de madeira, folhas e raízes entre os diferentes modelos nos sítios K34, K67, K83, RJA, BAN. A biomassa de florestas é caracterizada por ser constituída predominantemente por madeira. Em geral, o modelo SiBCASA teve maior biomassa de carbono em madeira nos sítios de floresta, com valores quase sete vezes maiores que os outros modelos na maioria dos sítios. Os outros cinco modelos podem ser divididos em dois padrões: IBIS, CN-CLASS e Biome-BGC simulam

biomassa de madeira de aproximadamente  $10 \text{ kgCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ , enquanto CLM3.5 e ED2 de forma geral possuem menores valores simulados, em torno de  $3 \text{ kgCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ . A biomassa de folhas e raízes apresenta magnitudes similares para todos os modelos, exceto para os modelos CN-CLASS e ED2 na biomassa de raízes (Fig. 4c).

A biomassa de madeira predomina na biomassa total devido à sua mais alta magnitude. Na Tabela 5 a biomassa total anual estimada pelos modelos e alguns valores observados na literatura são apresentados. Para os sítios de floresta os modelos IBIS e Biome-BCG estão dentro do grau de incerteza dos valores medidos. Esses dois modelos também apresentam os resultados mais próximos aos observados para o NPP integrado anual.

A biomassa dos sítios de pasto/agricultura, FNS e K77, é caracterizada pela biomassa mais alta nos reservatórios de raízes e folhas (Fig. 11b e Fig. 11c). Para ambos os sítios, todos os modelos têm menos carbono em madeira, e, em geral, mantém a mesma proporção entre raízes e folhas que os sítios de floresta. Nos modelos, esse tipo de vegetação é geralmente representado por gramíneas, as quais não possuem biomassa de madeira.

Tabela 5 – Biomassa total ( $\text{KgCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ) estimada por modelos e resultados de medições

	K34	K67	K83	RJA	BAN	PDG	FNS	K77
IBIS	17	18.7	18.5	15.5	17.0	16.2	17.0	12.3
CN_CLASS	35.7	22.5	18.7	12.8	11.4	2.4	1.36	2.58
ED2	25.8	25.2	-	2.83	6.12	2.42	0.3	0.25
CLM3.5	3.23	-	-	0.94	0.83	1.15	-	-
SIB_CASA	87.9	78.9	75.1	67.3	36.0	4.1	0.9	0.64
BIOME-BGC	14.8	13.2	13.4	16.6	74.6	1.91	1.39	1.22
Medidas	$20.3 \pm 5.6^a$	$16.6 \pm 3.6^a$	19.9- $21.8 \pm 0.2^a$	-	-	$1.7-2.3^b$	-	-

<sup>a</sup>Malhi et al. (2009); <sup>b</sup>da Rocha et al. 2002

A vegetação de savana (PDG) apresenta uma altura do dossel maior que os outros sítios de floresta, então é esperado que os modelos simulem menos carbono em madeira como

nos sítios de agricultura. Os resultados das simulações do modelo confirmam essa expectativa. Os modelos se comportam de forma similar aos sítios de pasto/agricultura para todas as componentes de biomassa. Os resultados do modelo Biome-BGC representam bem as medidas de biomassa total.



## 4 CONCLUSÕES

Nesse estudo analisamos e comparamos os resultados desde os ciclos diários do NPP até o NPP integrado anual de 15 modelos de superfície que participam do projeto LBA-DMIP. Os reservatórios de biomassa de 6 modelos também são analisados e comparados. Os forçantes de oito sítios do LBA com quatro diferentes tipos de bioma foram usados para gerar os resultados. Os modelos foram divididos em três categorias: Vegetação dinâmica, fluxos de carbono e ciclo de nitrogênio; Vegetação dinâmica e fluxos de carbono; Vegetação estática.

Os modelos mostraram uma grande variabilidade nos seus ciclos diários para todas as categorias de modelos em todos os sítios. No período seco, o pico diurno do NPP dos ciclos diários médios mensais diminui consideravelmente para todos os modelos, apesar de os valores de NPP noturnos não aumentarem significativamente. Em geral, os modelos têm uma sazonalidade no NPP, fortemente representada nas médias mensais.

O NPP integrado anual simulado mostra diferenças maiores que quatro vezes entre os modelos. Os modelos DVN foram os que melhor representaram os valores observados, sugerindo que uma representação dinâmica refinada dos processos representa os valores reais de NPP de forma consistente. Entretanto, a biomassa simulada é divergente entre os modelos, apesar de a distribuição da biomassa seguir os padrões esperados para cada tipo de bioma. Logo, uma calibração dos modelos deve melhorar os resultados das simulações.

Os modelos DVN mostraram os resultados mais próximos do observado para a biomassa anual média. Os modelos DV tiveram resultados próximos, mas alguns deles mostraram respiração autotrófica mais alta, o que levou a um menor CUE. Os modelos ST mostram maior desvio padrão. O melhoramento dos resultados da respiração autotrófica por si só pode levar a uma melhor representação do NPP, uma vez que o GPP dos modelos também desvia dos valores observados, porém desvia menos que a respiração autotrófica.

Esse estudo mostra que modelos que objetam melhor representar os processos de carbono e vegetação devem representá-los de forma dinâmica, por apresentarem menos divergência entre si especialmente nas médias anuais. Além disso, a respiração autotrófica deve ser objeto de atenção particular, uma vez que é a maior fonte das diferenças de NPP e CUE dos valores observados pela literatura.

## 5 REFERÊNCIAS

Andreae, M.O., et al. 2002. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases, and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. **J. Geophys. Res.** 107, doi:10.1029/2001JD000524

Arain, M.A., Yuan, F.M. and Black, T.A., 2006. Soil-plant nitrogen cycling modulated carbon exchanges in a western temperate conifer forest in Canada. **Agricultural and Forest Meteorology**, 140(1-4): 171-192, doi: 374 10.1016/j.agrformet.2006.03.021.

Araújo, A.C. et al., 2010. The spatial variability of CO<sub>2</sub> storage and the interpretation of eddy covariance fluxes in central Amazonia. **Agricultural and Forest Meteorology**, 150: 226-237, doi: 10.1016/j.agrformet.2009.11.005.

Baker, I.T. et al., 2008. Seasonal drought stress in the Amazon: Reconciling models and observations. **Journal of Geophysical Research Biogeosciences**, 113: 1-10, doi: 10.1029/2007JG000644.

Borma, L.S. et al., 2009. Atmosphere and hydrological controls of the evapotranspiration over a floodplain forest in the Bananal Island region, Amazonia. **Journal of Geophysical Research Biogeosciences**, 114: 1-12, doi: 10.1029/2007JG000641.

Botta, A., Ramankutty, N. and Foley, J.A., 2002. Long-term variations of climate and carbon fluxes over the Amazon basin. **Geophys. Res. Lett.**, 29(9): 1319.

Clark, D.B. et al., 2011. The Joint UK Land Environment Simulator (JULES), model description – Part 2: Carbon fluxes and vegetation dynamics. **Geosci. Model Dev.**, 4(3): 701-722, doi: 10.5194/gmd-4-701-2011.

De Gonçalves, L. G. G. et al. 2012. Overview of the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia Data Model Intercomparison Project (LBA-DMIP). **Agric. For. Meteorol**, submitted.

Da Rocha, H.R., Freitas, H.C., Rosolem, R., Tannus, R.N. and Dias, M.A.F.S., 2002. Measurements of CO<sub>2</sub> exchange over a woodland savanna (Cerrado Sensu stricto) in southeast Brazil. **Biotaneotropica**, 2: 1-11

Da Rocha, H.R. et al., 2004. Seasonality of Water and Heat Fluxes over a Tropical Forest in Eastern Amazonia. **Ecological Applications**, 14: 1-31, doi: 10.1890/02-6001.

El-Masri, et al., 2012. Carbon dynamics in the Amazonian Basin: Fusion of eddy covariance and ecophysiological data with a land surface model. **Agricultural and Forest Meteorology**, submitted.

Foley, J. A. et al., 1996. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. **Global Biogeochem. Cycles**. 10, 603-628

Houghton et al. 2001. The Spatial distribution of forest biomass in Brazilian Amazon: A comparison of estimates. **Global Change Biol**. 7, 731-746.

Hutyra, L.R. et al., 2007. Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research Biogeosciences**, 112: 1-16, doi: 10.1029/2006JG000365.

Krinner, G. et al., 2005. A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system. **Global Biogeochemical Cycles**, 19: 1-33, doi: 10.1029/2003GB002199.

Kucharik, C. J. et al. 2000. Testing the performance of a Dynamic Global Ecosystem Model: Water balance, carbon balance, and vegetation structure. **Global Biogeochem. Cycles**. 14, 795-825

Kucharik, C. J., Brye K. R., 2003. Integrated Biosphere Simulator (IBIS) Yield and Nitrate Loss Predictions for Wisconsin Maize Receiving Varied Amounts of Nitrogen Fertilizer. **J. Environ Qual**. 32, 247-268.

Kuzyakov, Y., 2011. How to link soil C pools with CO<sup>2</sup> fluxes? **Biogeosciences**, 8, 1523–1537

LBA-MIP, <http://www.climatemodeling.org/lba-mip/>

Levis, S., Bonan, G.B., Vertenstein, M. and Oleson, K.W., 2004. The Community Land Model's Dynamic Global Vegetation Model (CLM-DGVM): Technical 451 Description and User's Guide, **National Center for Atmospheric Research**, 452 Boulder, CO, USA.

Malhi, Y., Grace, J. 2000. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. **Tree** 15(8), 332-337

Malhi, Y., Doughty, C., Galbraith, D., 2011. The Allocation of Ecosystem Net Primary Productivity in Tropical Forests. **Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B.** 366, 3225–3245

Malhi, Y., et al. 2009. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. **Global Change Biol.** doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01780.x.

Medvigy, D., Wofsy, S.C., Munger, J.W., Hollinger, D.Y. and Moorcroft, P.R., 2009. Mechanistic scaling of ecosystem function and dynamics in space and time: Ecosystem Demography model version 2. **Journal of Geophysical Research Biogeosciences**, 114: 1-21, doi: 10.1029/2008JG000812.

Miller, S.D. et al., 2004. Tower-based and Biometry-based Measurements of Tropical Forest Carbon Balance. **Ecological Applications**, 14: 1-46 / S114-S126

Niu, G.-Y. et al., 2011. The community Noah land surface model with 482 multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation 483 with local-scale measurements. **Journal of Geophysical Research**, 116(D12): 484 D12109, doi: 10.1029/2010jd015139.

Peng, C. H. 2000. From static biogeographical model to dynamic global vegetation model: a global perspective on modelling vegetation dynamics. **Ecol. Modell.** 135, 33–54.

Ramankutty, N., et al. 2007. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global Change Biol.** 13, 51-66, doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01272.x

Randow, C. et al., 2004. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, 78: 5-26, doi: 10.1007/s00704-004-0041-z.

Rice A.H., et al. 2004. Carbon balance and vegetation dynamic in an old-growth Amazonian forest. **Ecol. Appl.** 14(4), S55-S71.

Rosolem, R.; Shuttleworth, W. J.; de Goncalves, L. G. G.; 2008. Is the data collection period of the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia representative of long-term climatology? **J. Geophys. Res.** 113, G00b09, 12 PP. doi:10.1029/2007JG000628

Sakai, R.K., et al. 2004. Land-use change effects on local energy, water, and carbon balances in an Amazonian agricultural field. **Global Change Biol.** 10, 895-907.

Sellers, P.J. et al., 1996. A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMS. Part I: Model Formulation. **Journal of Climate**, 9(4): 676-705, doi: 10.1175/1520-0442(1996)009<0676:ARLSPF>2.0.CO;2.

Schaefer, K. et al., 2008. Combined Simple Biosphere/Carnegie-Ames-Stanford Approach terrestrial carbon cycle model. **Journal of Geophysical Research**, 113(G3): G03034, doi: 10.1029/2007jg000603.

Sitch, S. et al., 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model. **Global Change Biology**, 9: 161-185, doi: 10.1046/j.1365-2486.2003.00569.x.

Smith, P. et al. 2010. Measurements necessary for assessing the net ecosystem carbon budget of croplands. **Agric. Ecosyst. Environ.** 139, 302–315

Thornton, P.E., Lamarque, J.-F., Rosenbloom, N.A. and Mahowald, N.M., 2007. Influence of carbon-nitrogen cycle coupling on land model response to CO<sub>2</sub> fertilization and climate variability. **Global Biogeochem. Cycles**, 21(4): GB4018, doi: 10.1029/2006gb002868.

Thornton, P.E. et al., 2002. Modeling and measuring the effects of disturbance history and climate on carbon and water budgets in evergreen needleleaf forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, 113: 185-222

Wang, Z. et al., 2011. Evaluating weather effects on interannual variation in net ecosystem productivity of a coastal temperate forest landscape: A model intercomparison. **Ecol. Modell.** 222, 3236-3249.

Yang, X., Wittig, V., Jain, A.K. and Post, W., 2009. Integration of nitrogen cycle dynamics into the Integrated Science Assessment Model for the study of terrestrial ecosystem responses to global change. **Global Biogeochemical Cycle** 23(4)

Zhan, X., Xue, Y. and Collatz, G.J., 2003. An analytical approach for estimating CO<sub>2</sub> and heat fluxes over the Amazonian region. **Ecological Modelling**, 162(1–2): 97-117, doi: 10.1016/s0304-3800(02)00405-2.

Zong Shan Li et al. 2011. The Potential Influence of Seasonal Climate Variables on the Net Primary Production of Forests in Eastern China. **J. Environ. Manage.** 48, 1173–1181